



Les 70 ans du CFMS
4 octobre 2018

La mécanique des sols... martiens !
Pierre Delage



Comité Français
de Mécanique des Sols
et de Géotechnique

FÊTONS ENSEMBLE LES 70 ANS DU CFMS
LE 4 OCTOBRE 2018 À PARIS !



InSight

1948 - 2018

70 ans !
octobre 2018

07/06/2012

Philippe Lognonné

Mesure des vitesses S et P pour une mission martienne

De Philippe Lognonné
Sujet: Mesures des vitesses S et P pour une mission martienne
Pour delage@cermes.enpc.fr <delage@cermes.enpc.fr>

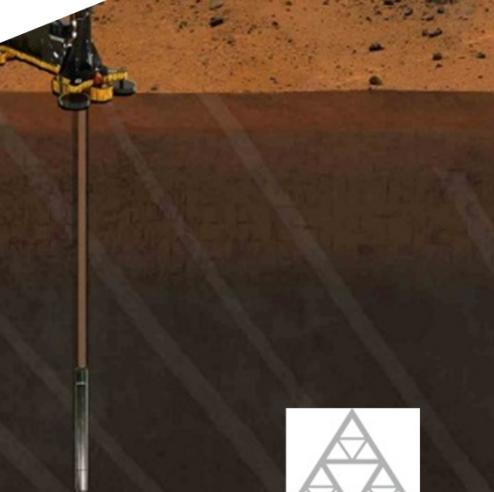
cher collègue,

Je vous contacte suite à un conseil de Mme Zamora.
Dans le cadre d'un projet géophysique visant à déployer un sismomètre sur Mars en 2016, nous avons besoin de mesurer les
vitesses sismiques d'analogues martiens.

SOIS... martiens

Philippe Lognonné

École des Ponts ParisTech
Navier/CERMES



[Annuaire](#)[Accès](#)[Contacts](#)[Intranet](#)[Webmail](#)

En

Fr

 Rechercher...

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

Terre - Planètes - Environnement - Risques naturels

[INSTITUT](#)[RECHERCHE](#)[OBSERVATION](#)[FORMATION](#)[NOTRE TERRE](#)

ÉQUIPES DE RECHERCHE

Planétologie et sciences spatiales

[Accueil](#)[Membres de l'équipe](#)[Thèmes de recherche](#)[Projets](#)[Equipement](#)[Logiciels et base de données](#)[Thèses](#)[Publications](#)[Séminaires](#)[Contacts](#)

Philippe Lognonné

Planétologie et sciences spatiales

01 57 27 53 05

lognonne@ipgp.fr

Université Paris Diderot - Institut de Physique du Globe de Paris - 35 rue Hélène Brion - Case 7071, Lamarck A - 75205 Paris Cedex 13, France

Professeur en Géophysique et Planétologie, Université Paris Diderot et Institut Universitaire de France

Responsable de l'Equipe Planétologie et Sciences Spatiales de l'Institut de Physique du Globe de Paris

Sujets de recherche:

- Sismologie planétaire (Structure interne de Mars et de la Lune, Processus d'impacts, ré-analyse des données Apollo)



National Aeronautics and
Space Administration

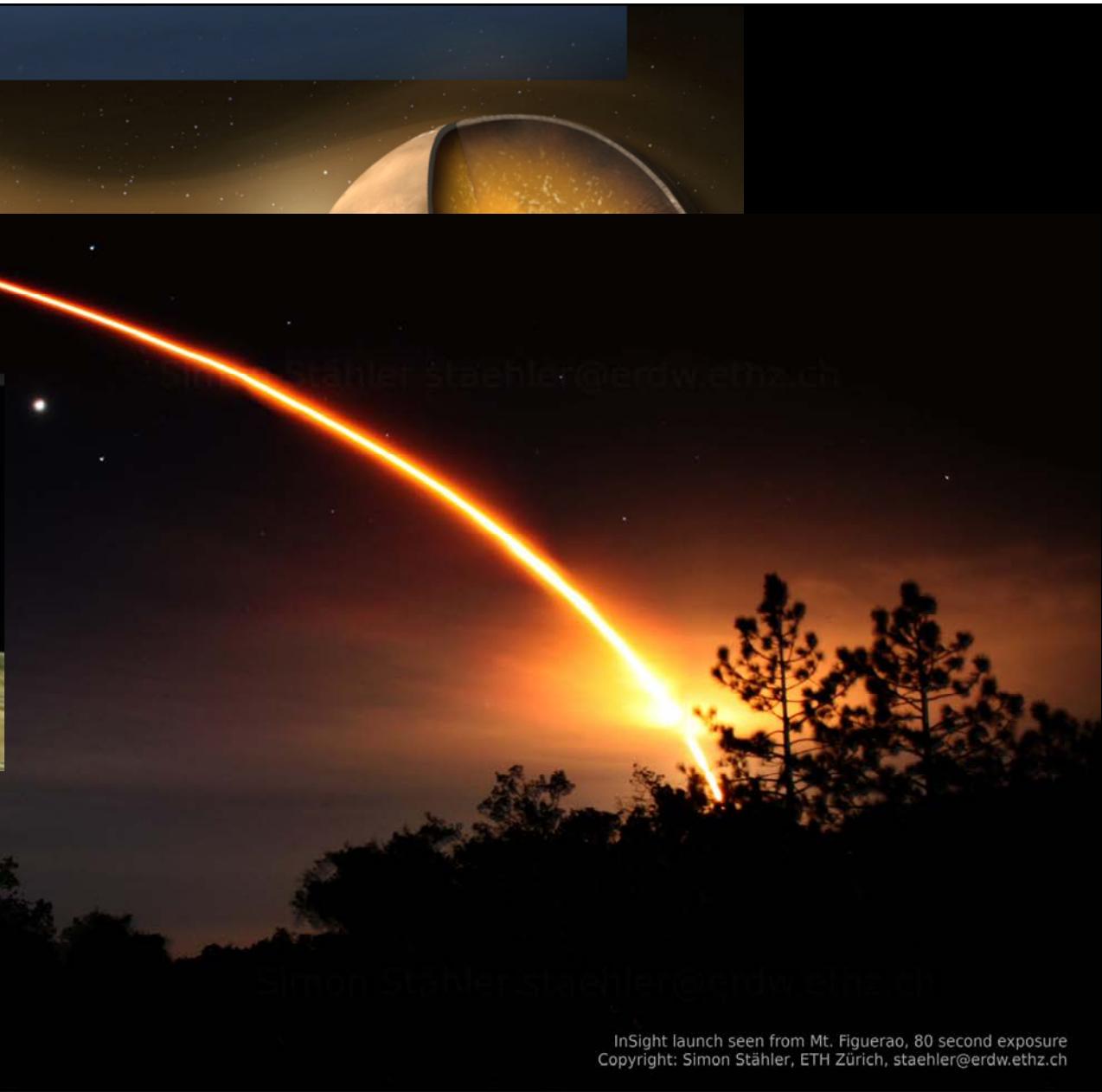
InSight

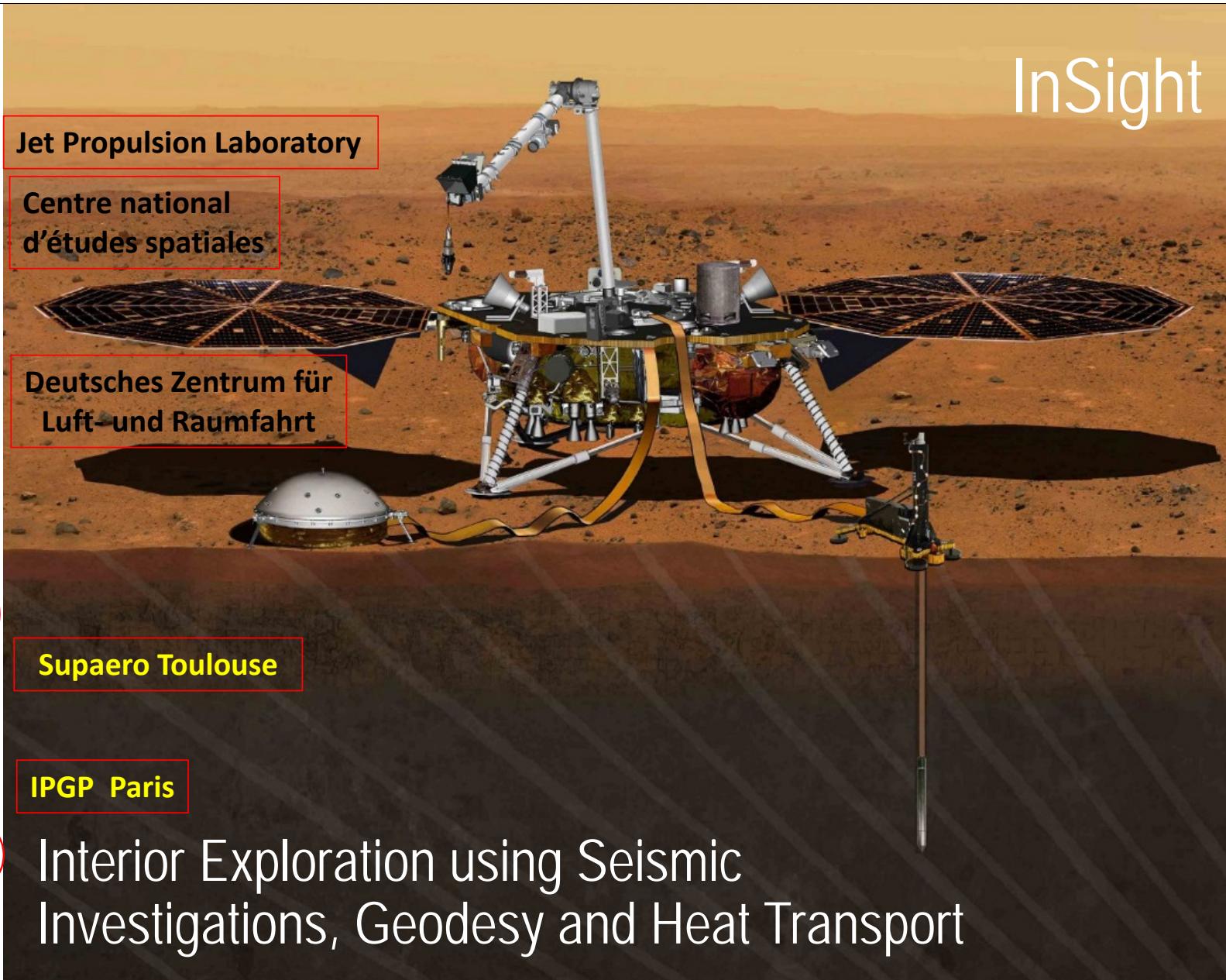
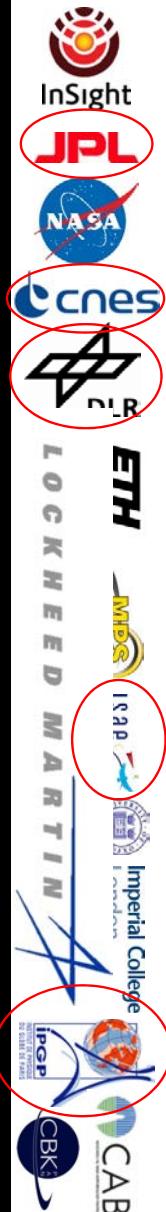
Home

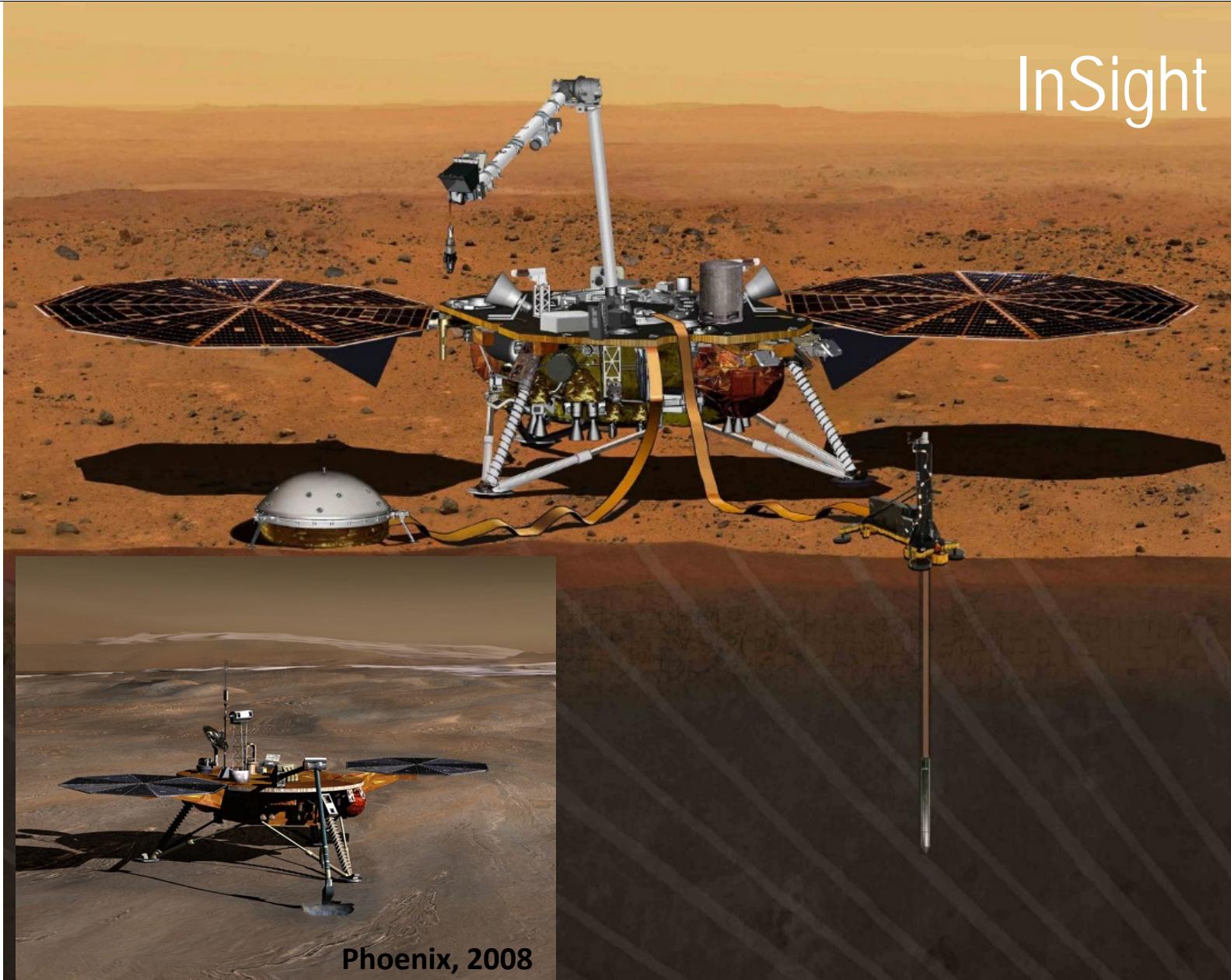
Mission

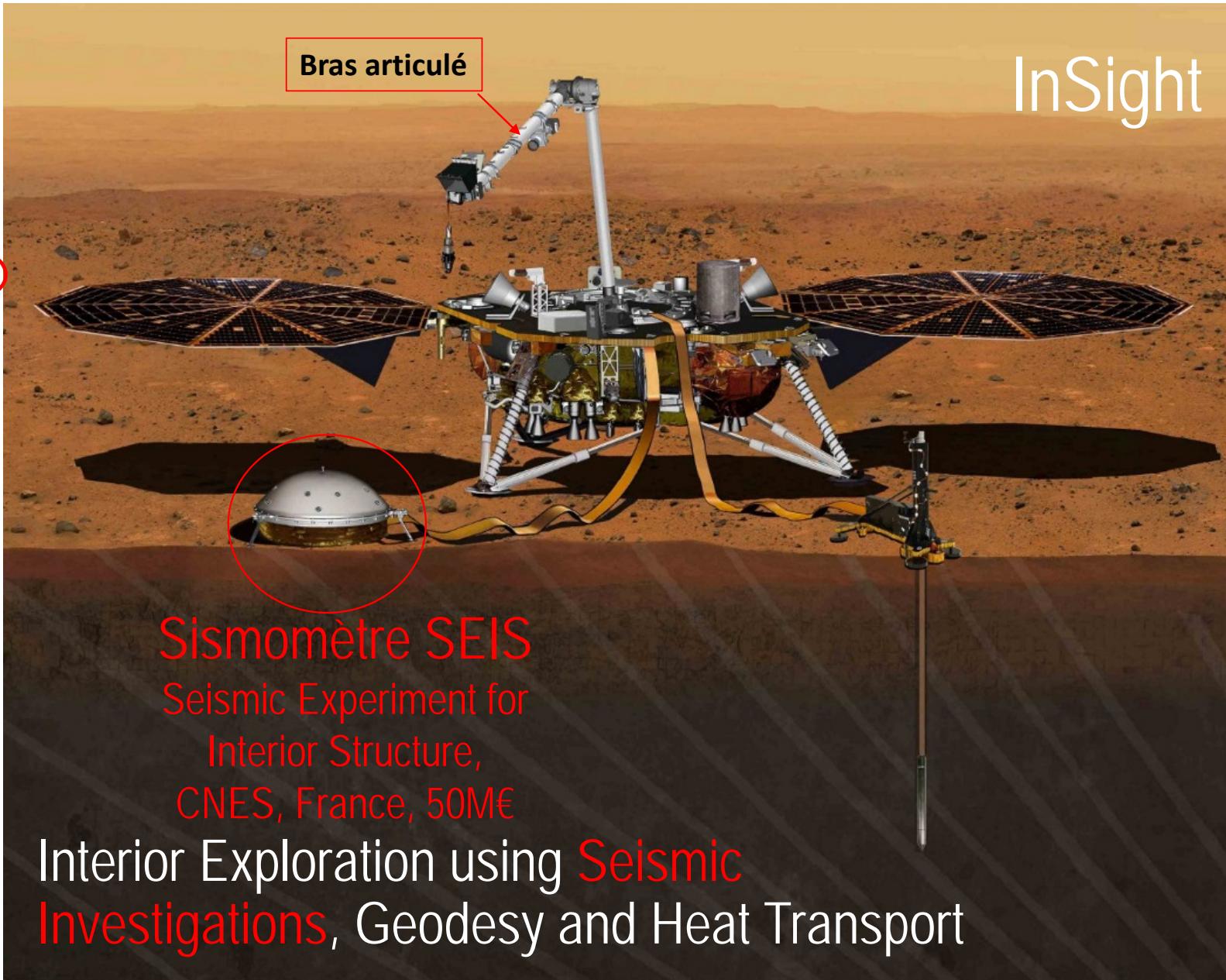
News & Features

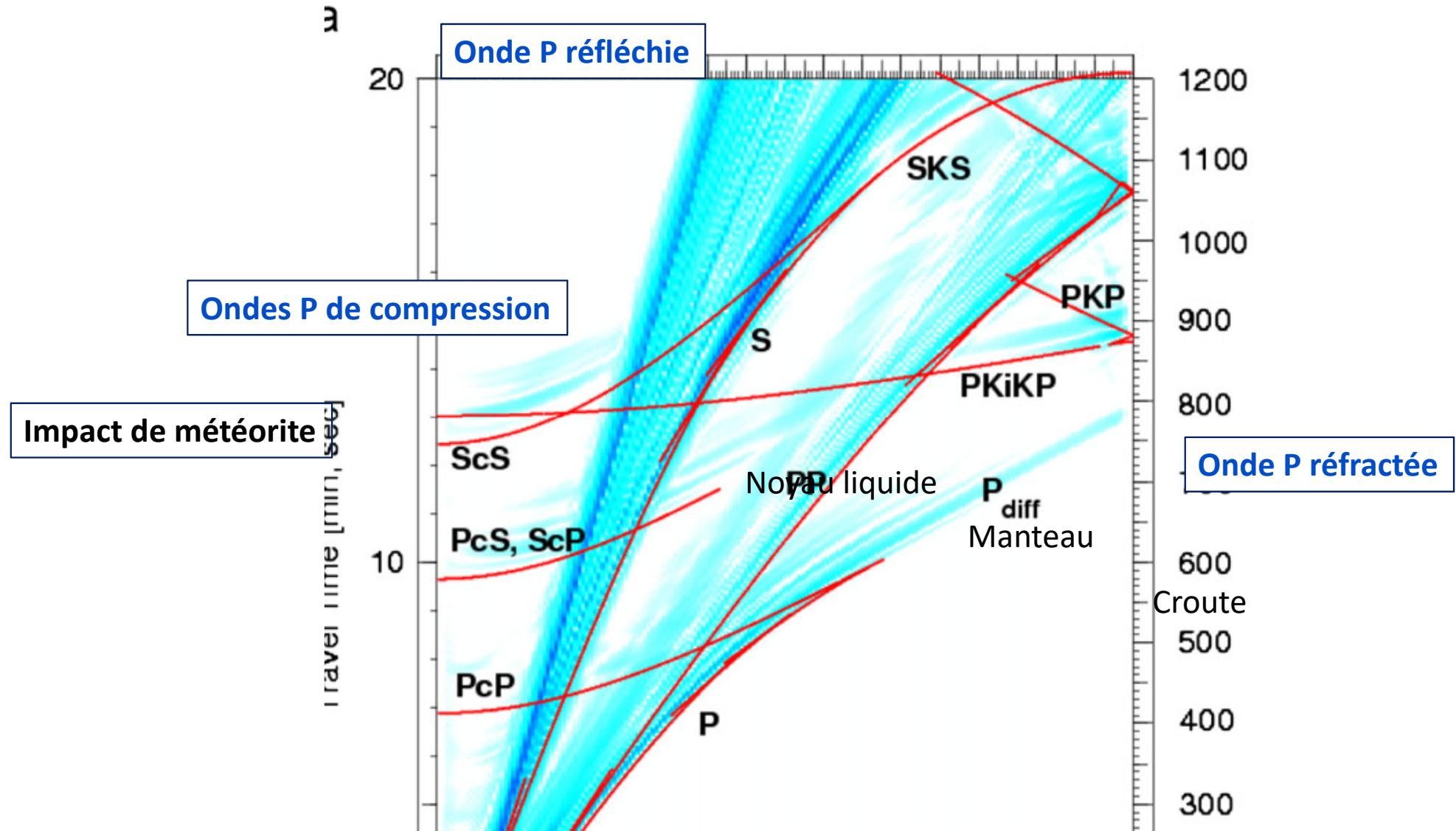
Science



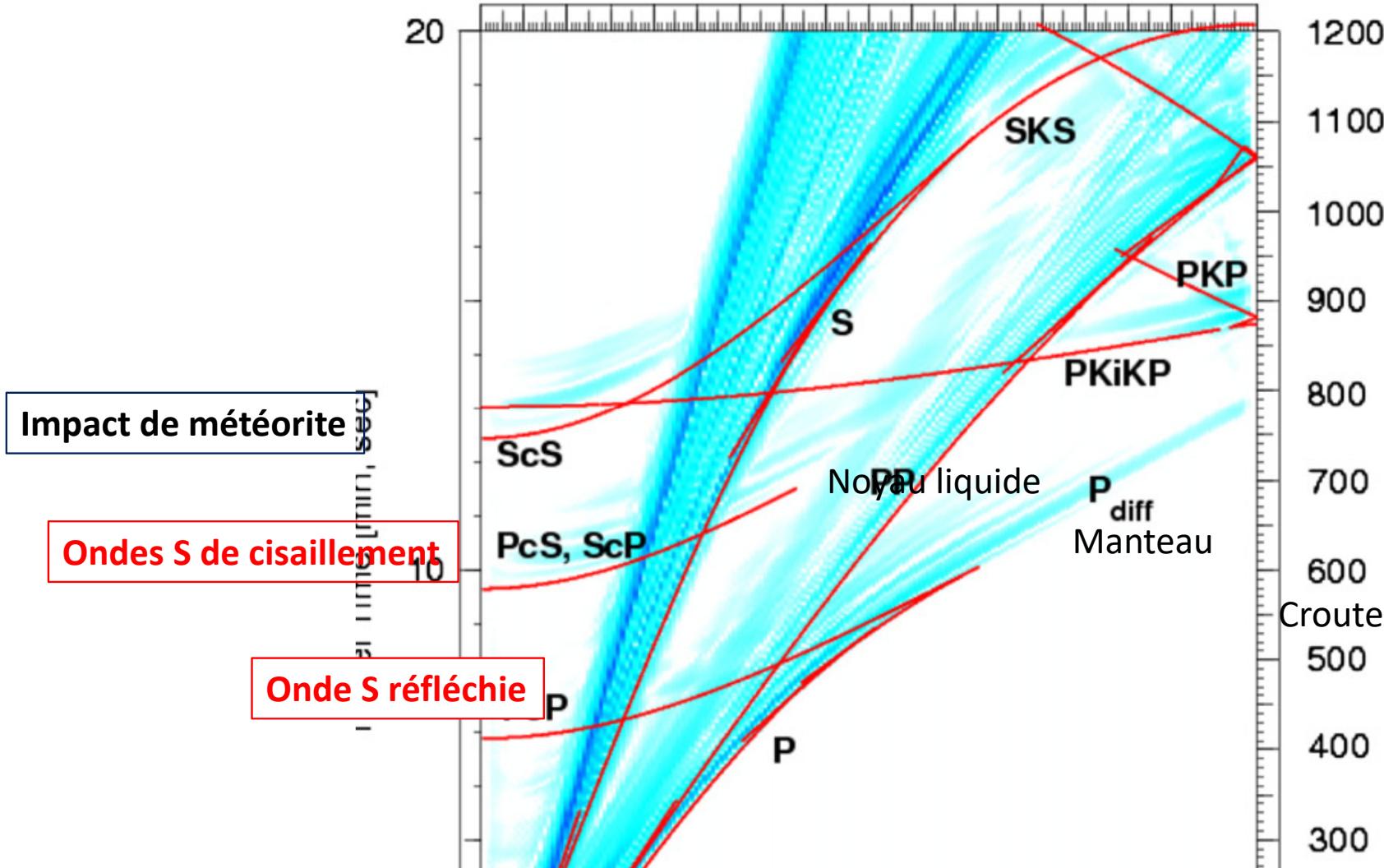


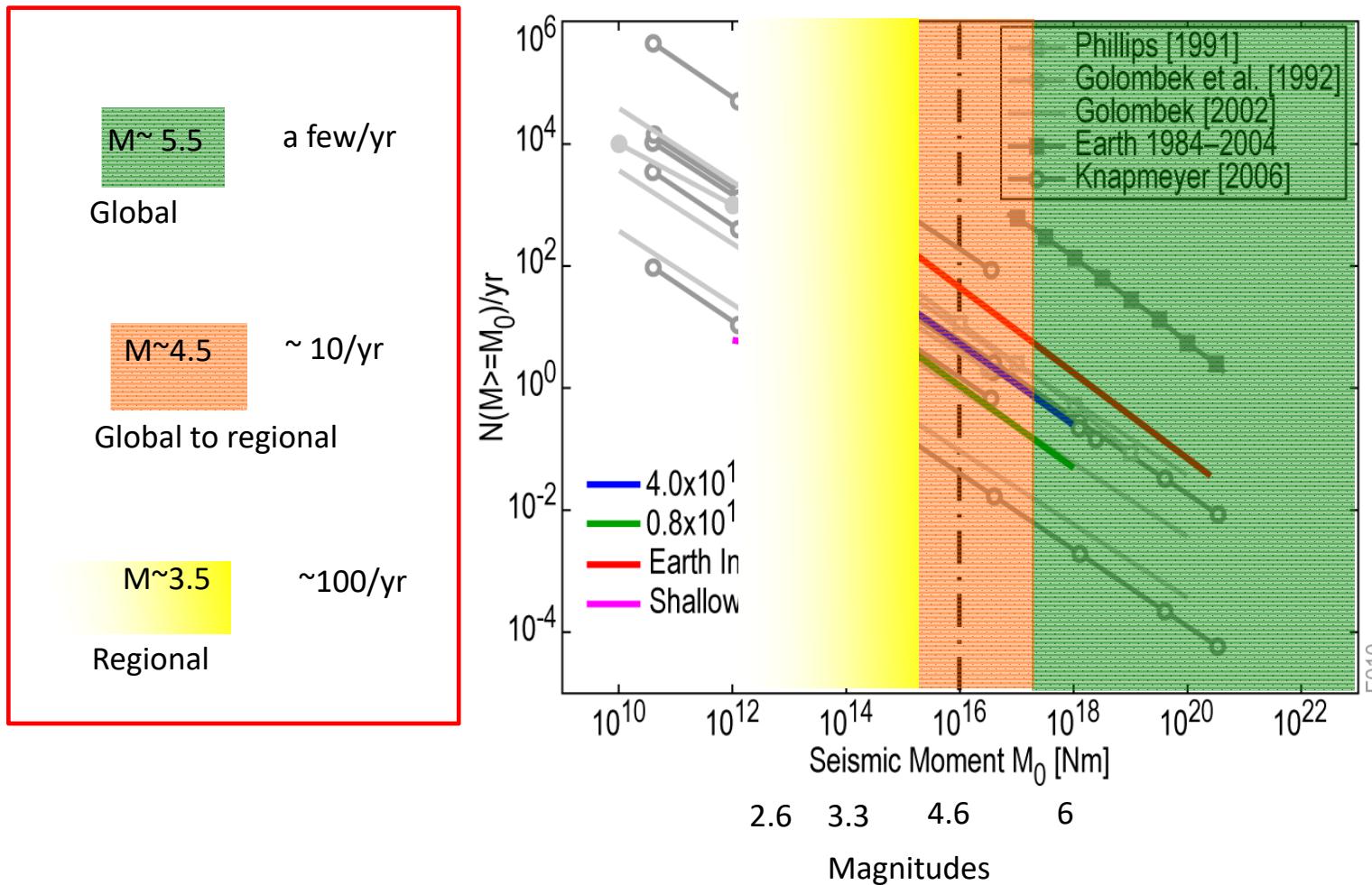




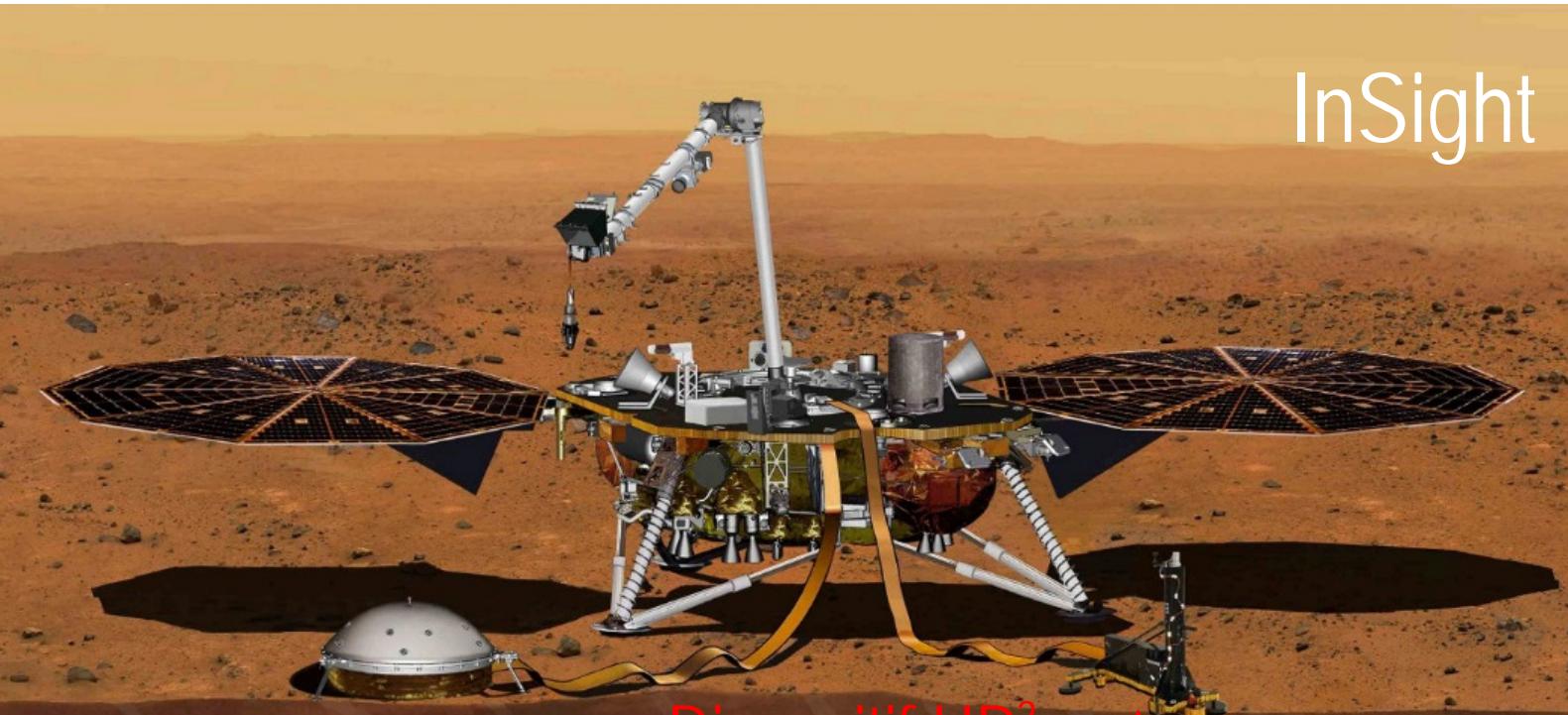


3





The technical data in this document is controlled under the U.S. Export Regulations, release to foreign persons may require an export authorization.



InSight

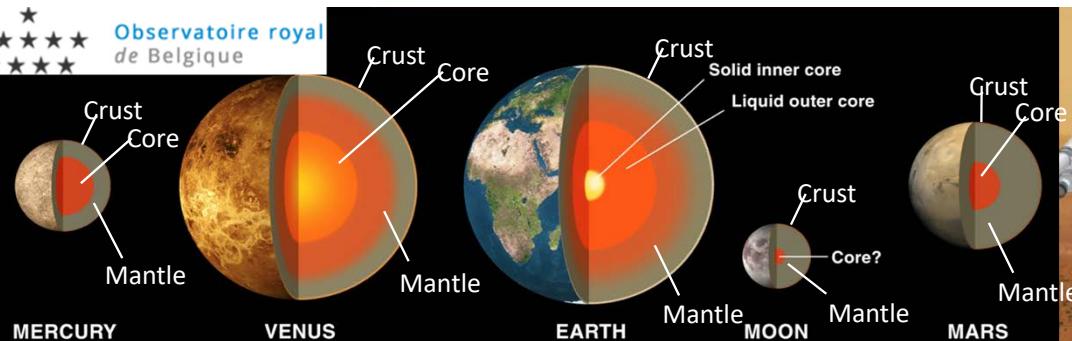
Dispositif HP³
Heat Flow and
Physical Properties
Package
DLR, Allemagne



Interior Exploration using Seismic
Investigations, Geodesy and Heat Transport

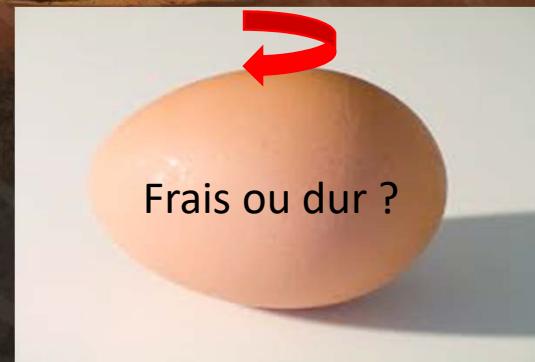
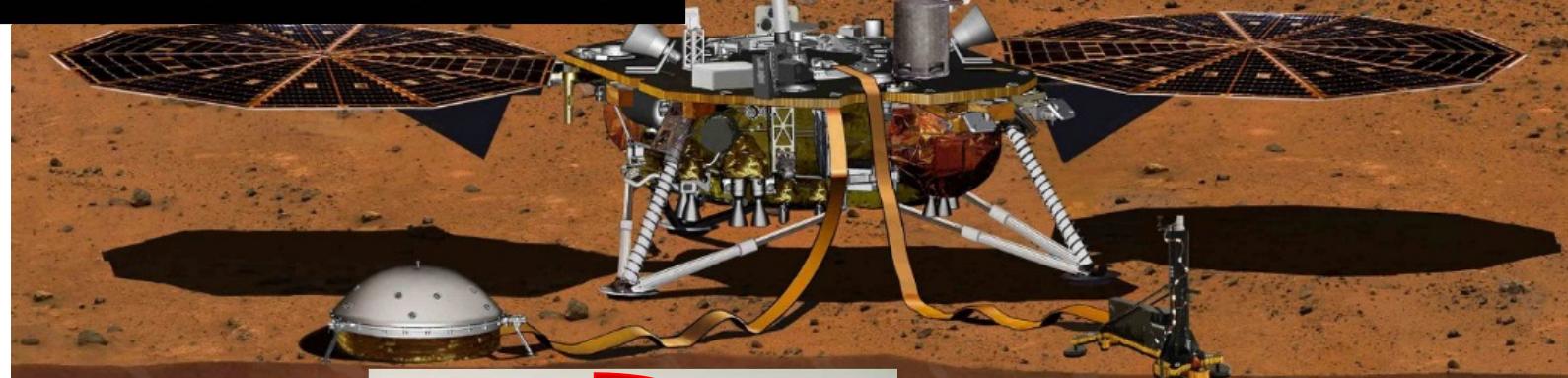


Observatoire royal
de Belgique



Rayon du noyau métallique de Mars
entre 1300 et 2000 km

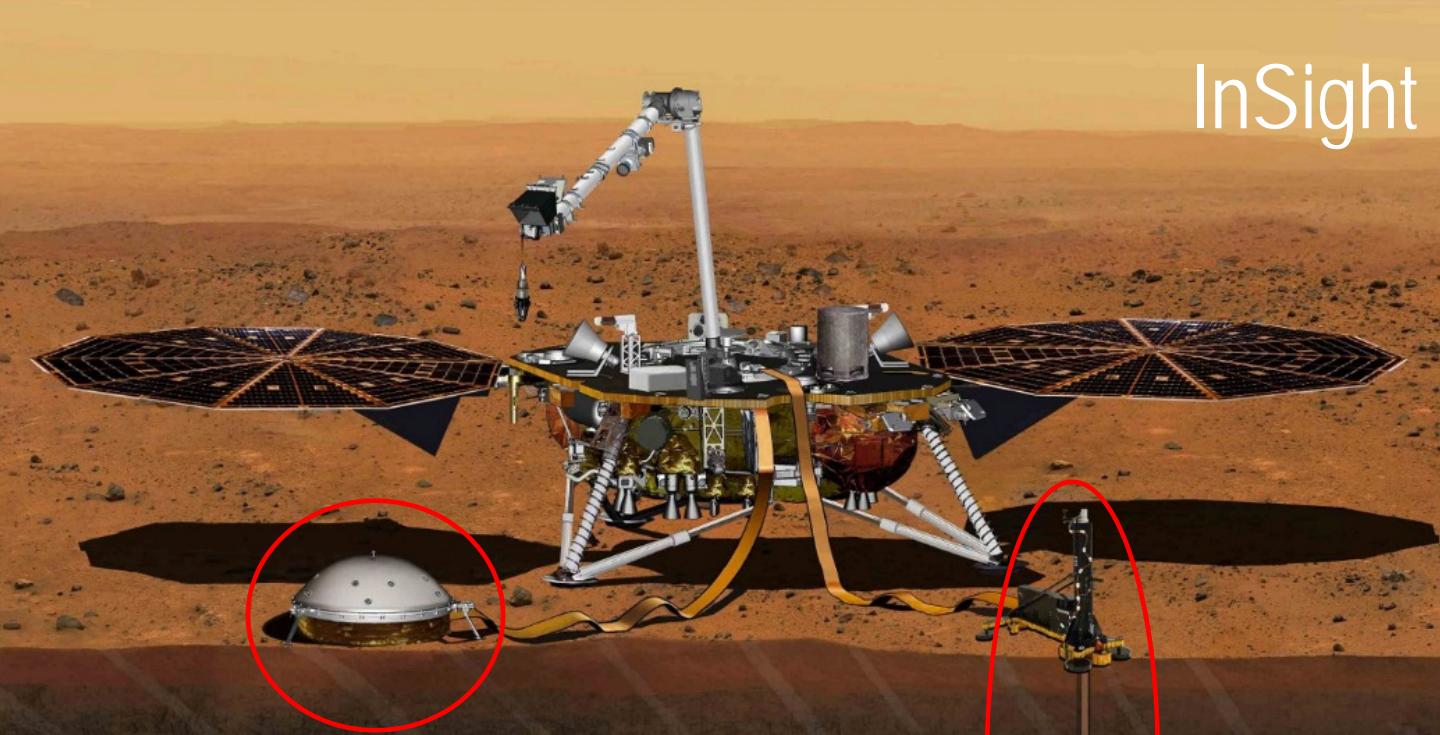
InSight



Interior Exploration using Seismic
Investigations, Geodesy and Heat Transport

Marée solide de Phobos

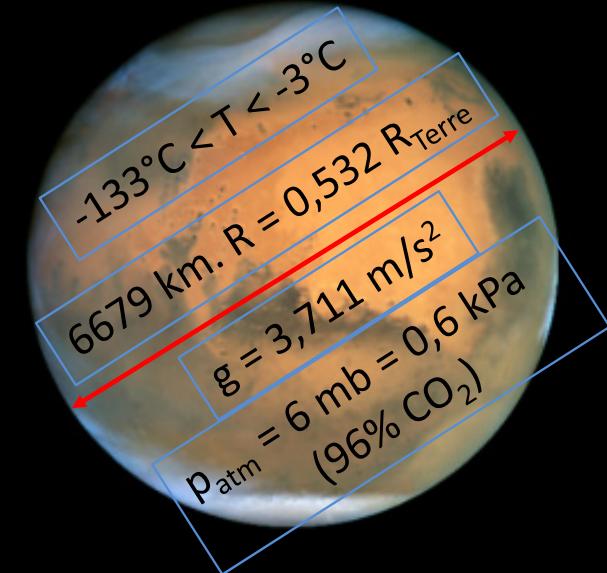
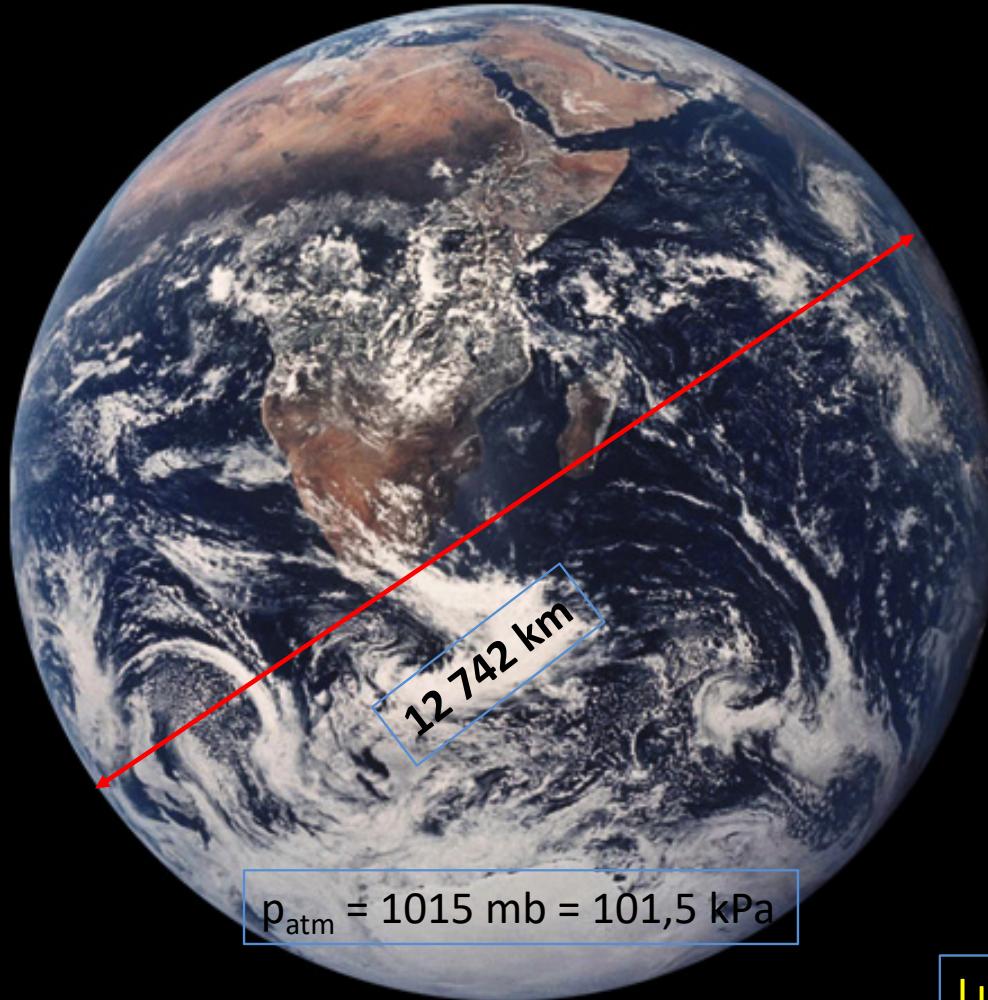


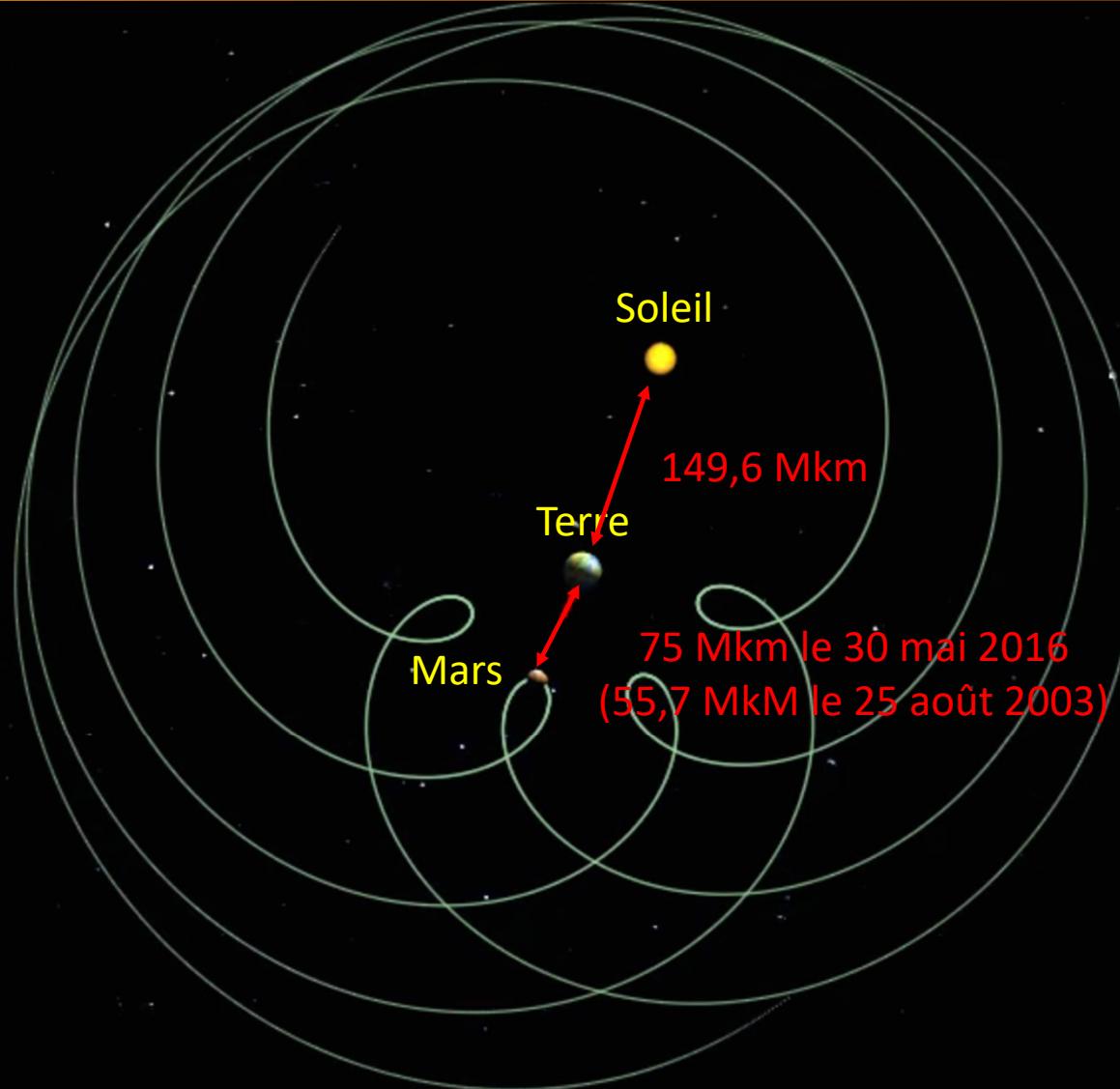


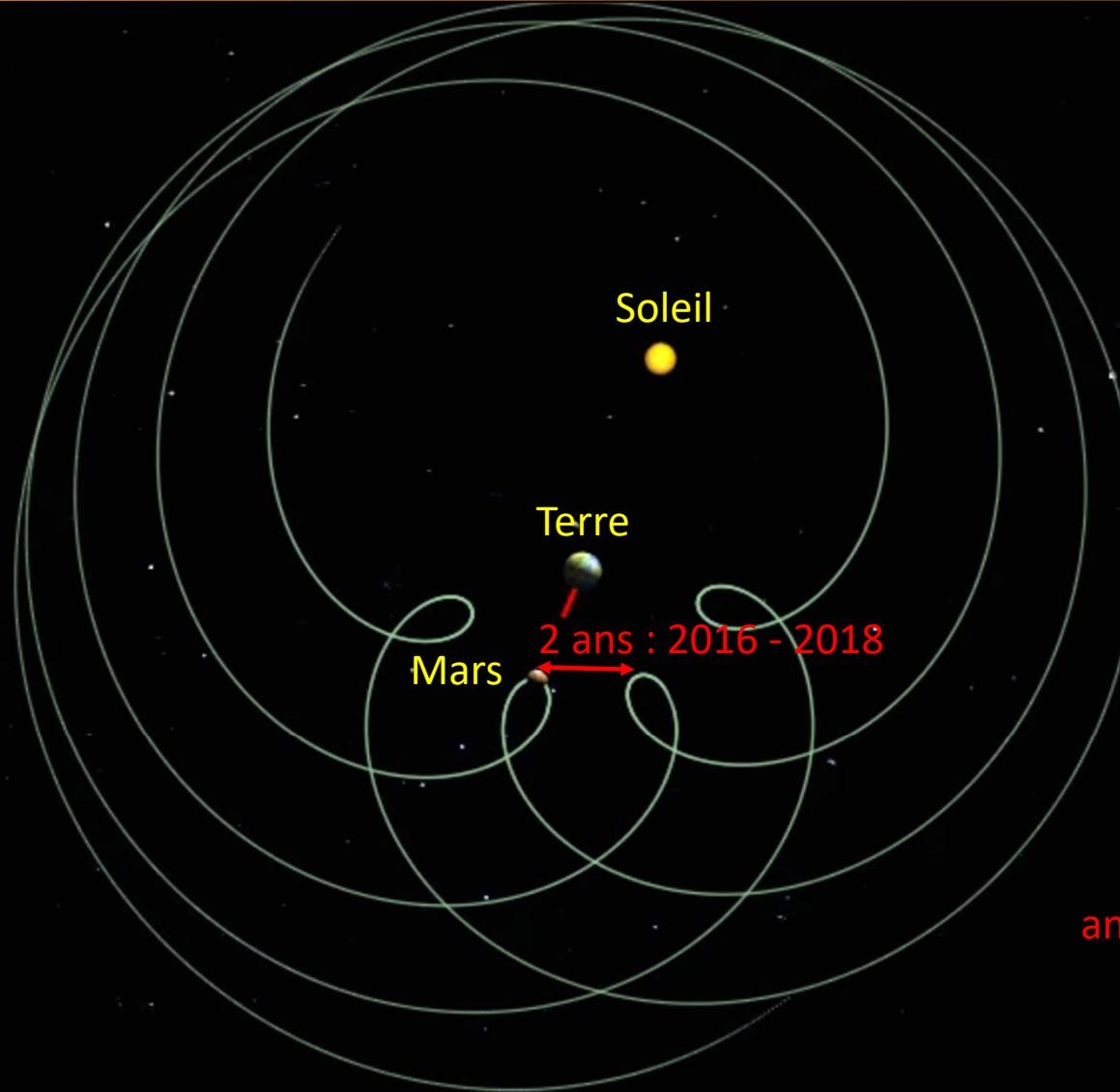
2. Interaction sismomètre/régolithe

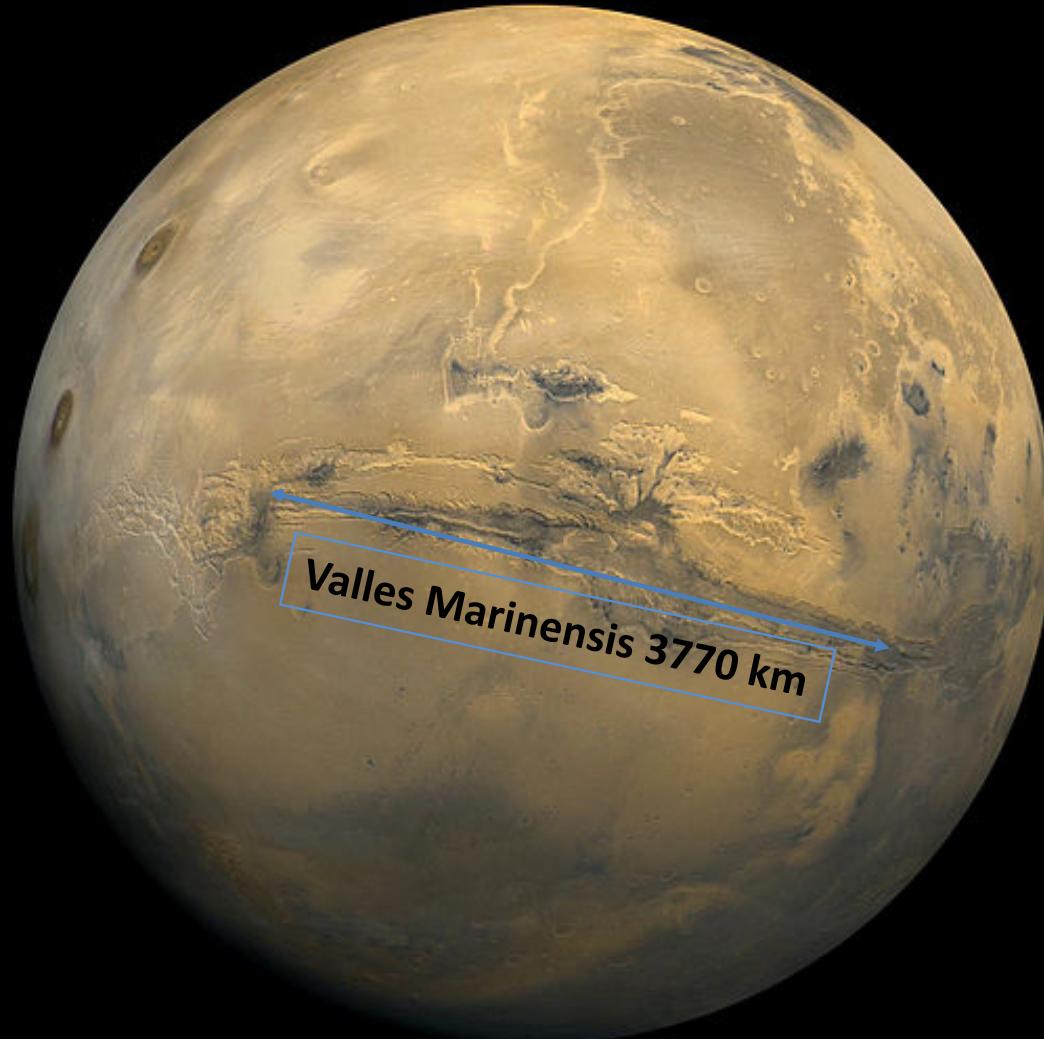
1. Sismomètre : vitesse de propagation des ondes dans le sol
 - Ondes de compression : V_p
 - Ondes de cisaillement : V_s

2. Interaction sismomètre/régolithe
3. Pénétration dynamique de la mole



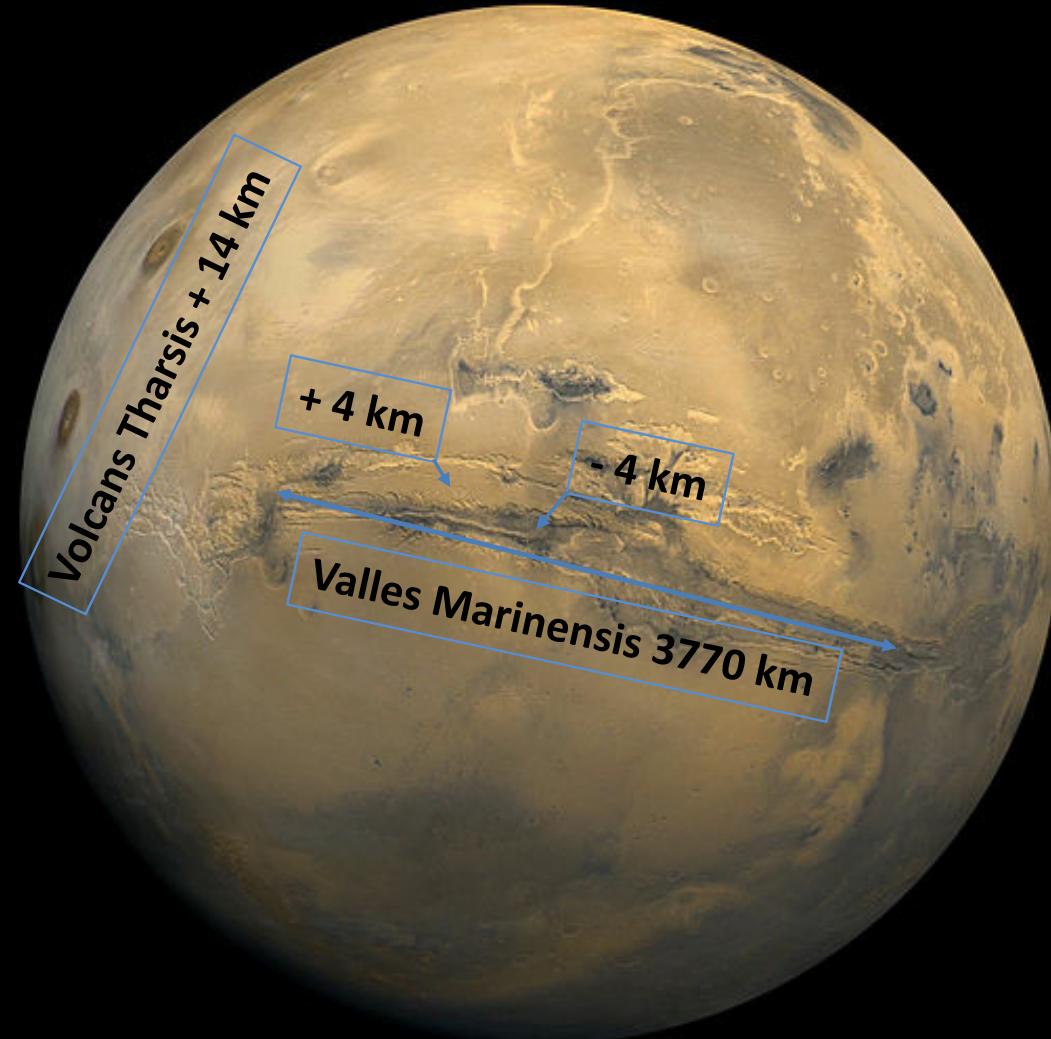






NASA : Recomposition d'après 102 images de la sonde orbitale Viking 1, 1980

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_\(planète\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_(planète)) 18

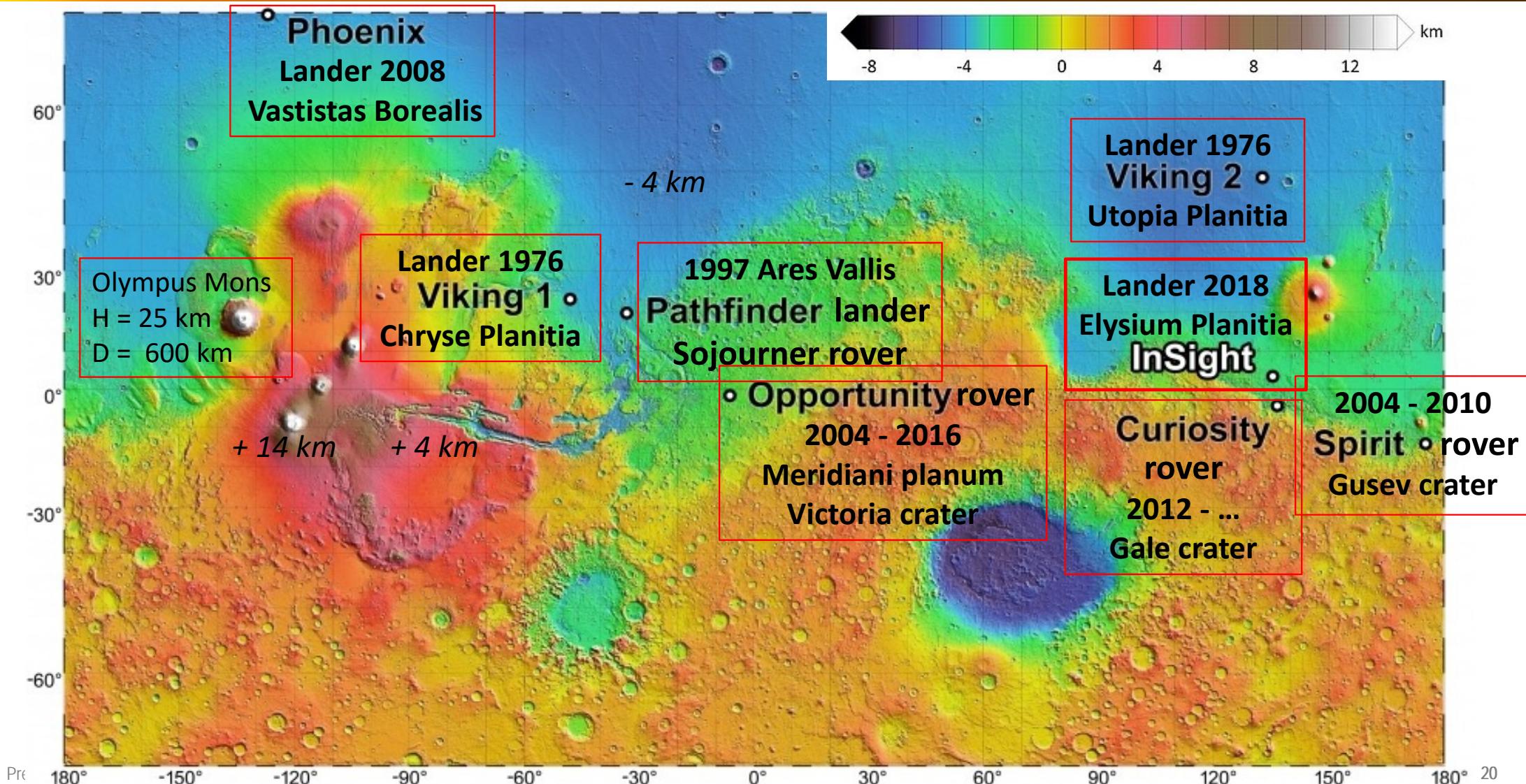


NASA : Recomposition d'après 102 images de la sonde orbitale Viking 1, 1980

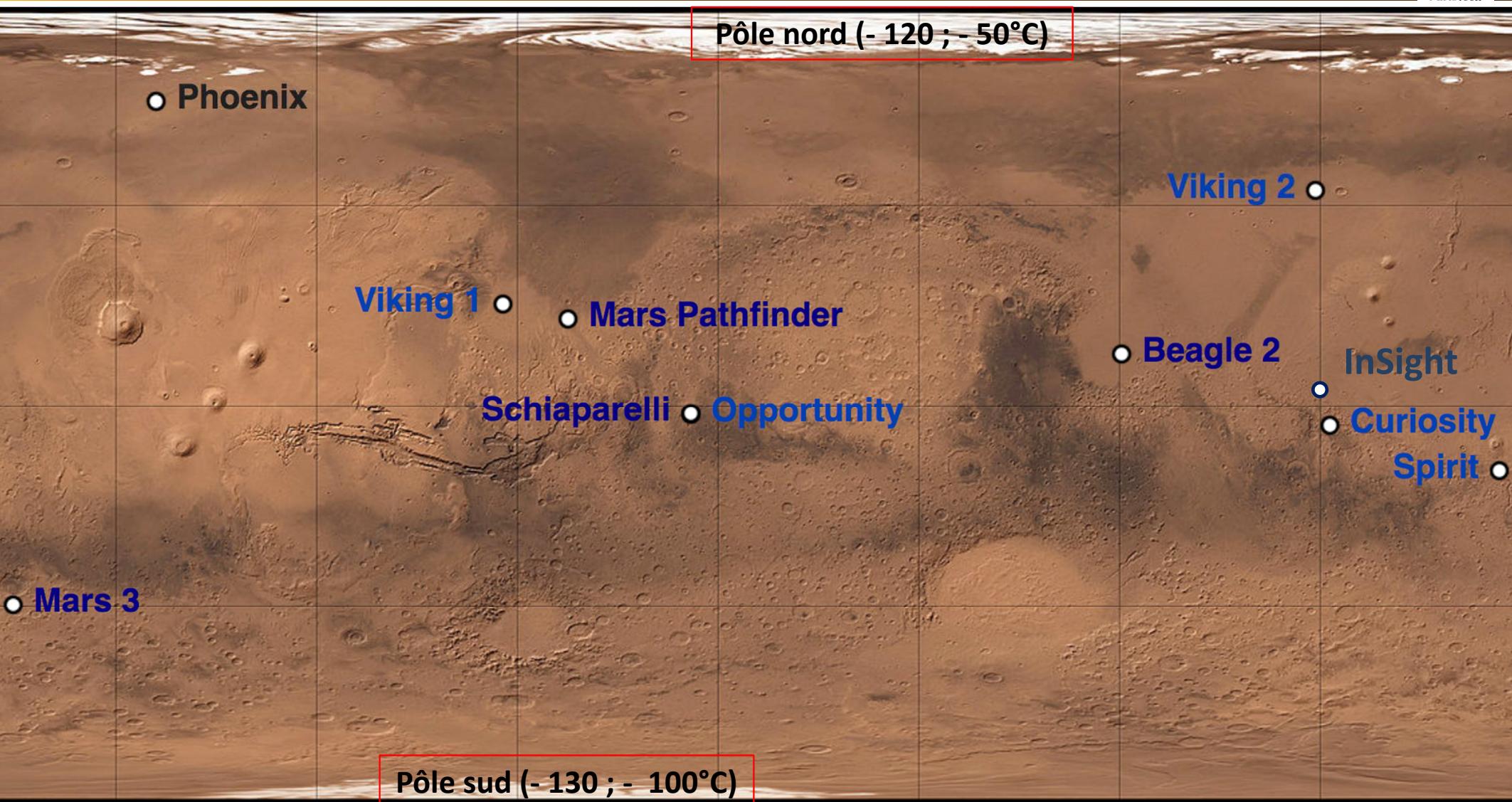
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_\(planète\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_(planète)) 19



Missions NASA (Mars Orbiter Laser Altimeter, Mars Global Surveyor, 1997 – 2006)



Autres atterrisseurs (Russie, Europe)



Passé plus chaud et plus humide



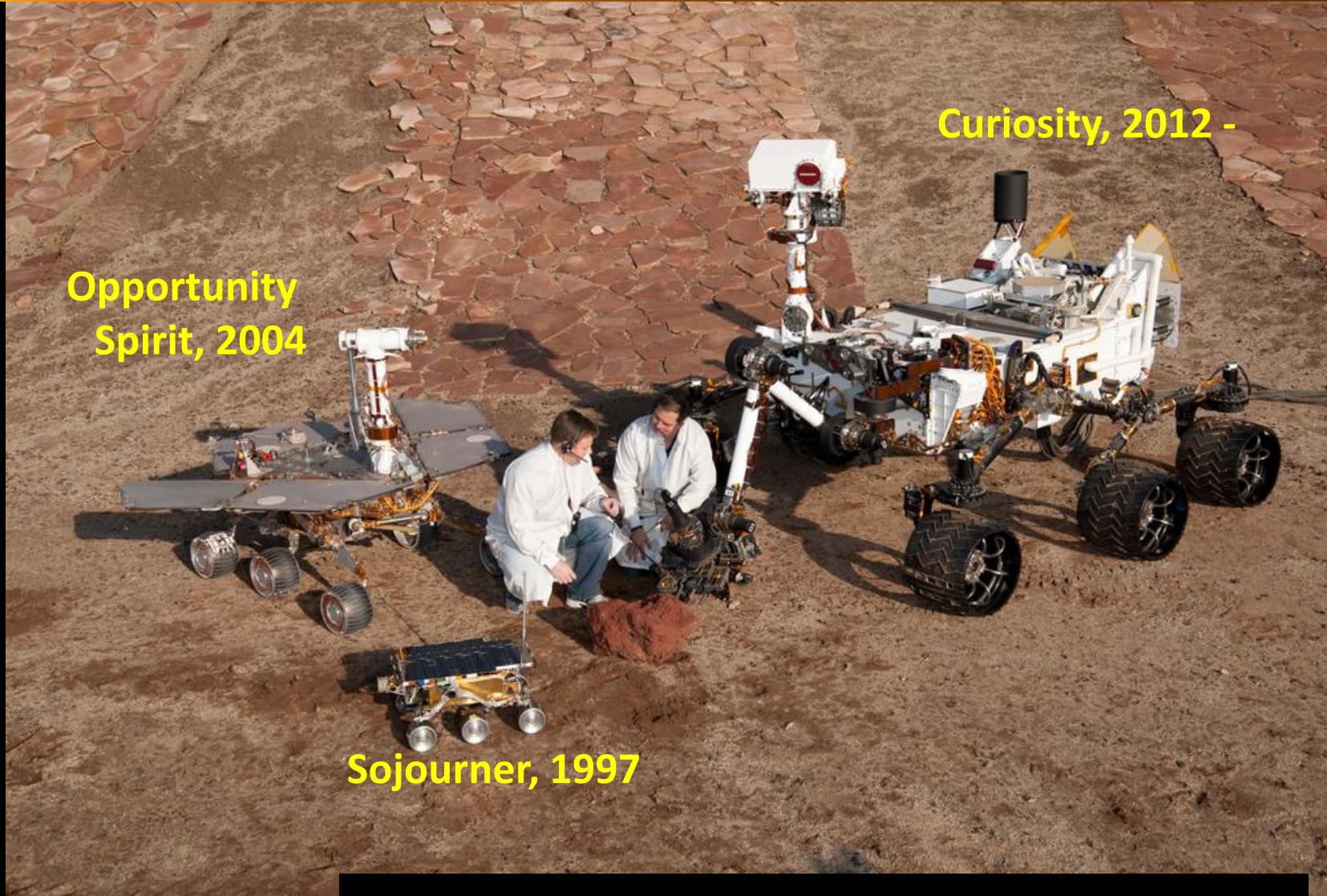
Rover Sojourner

Plaine d'inondation,
couverte de roches arrondies ou semi-arrondies,
emportées et déposées par les inondations,
en début d'évolution de la planète

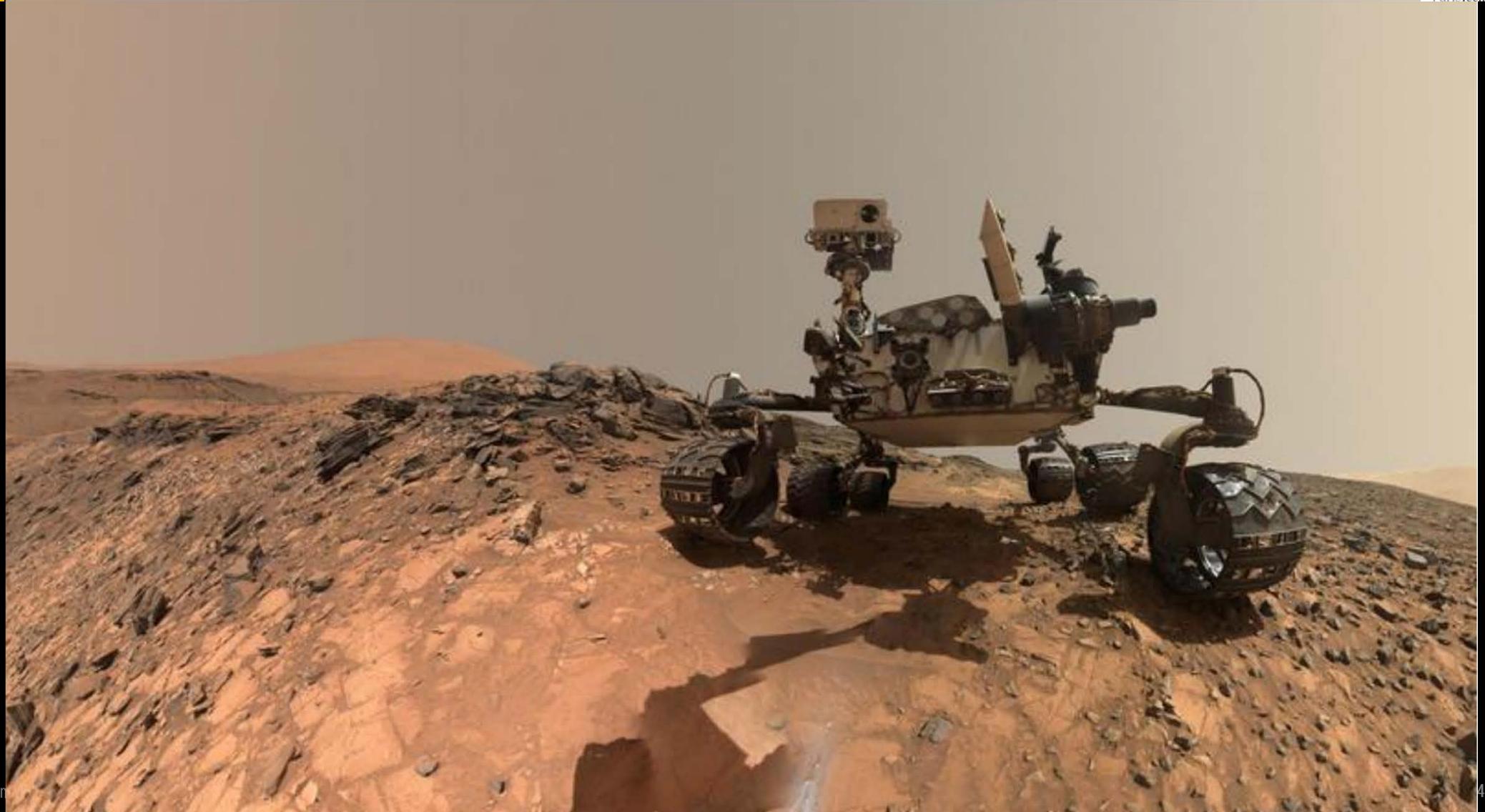




Pathfinder (1997), Mars Exploration Rovers (2004), Mars Science Laboratory (2012)

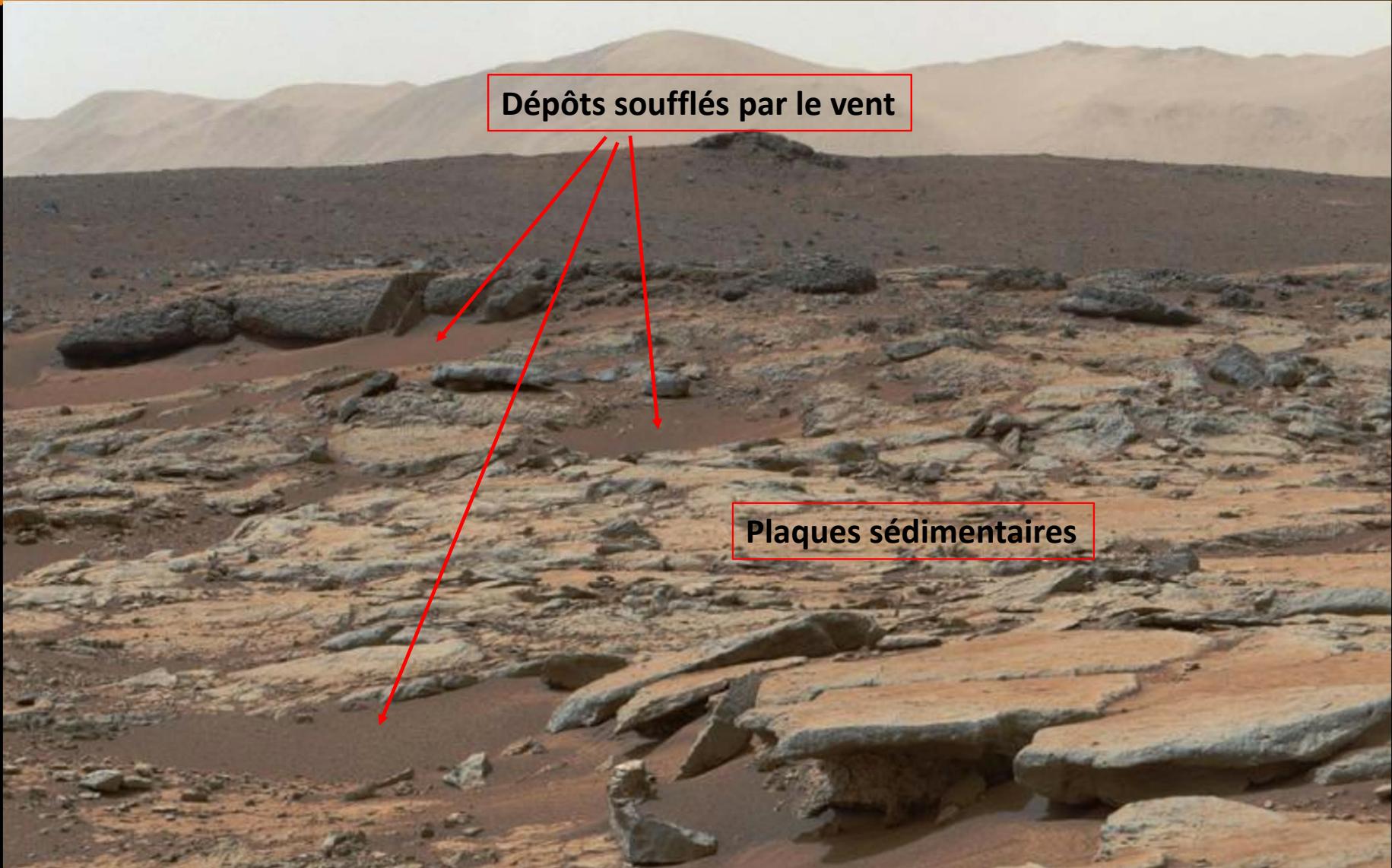


Rover Curiosity : 5 ans le 6 août 2017 !

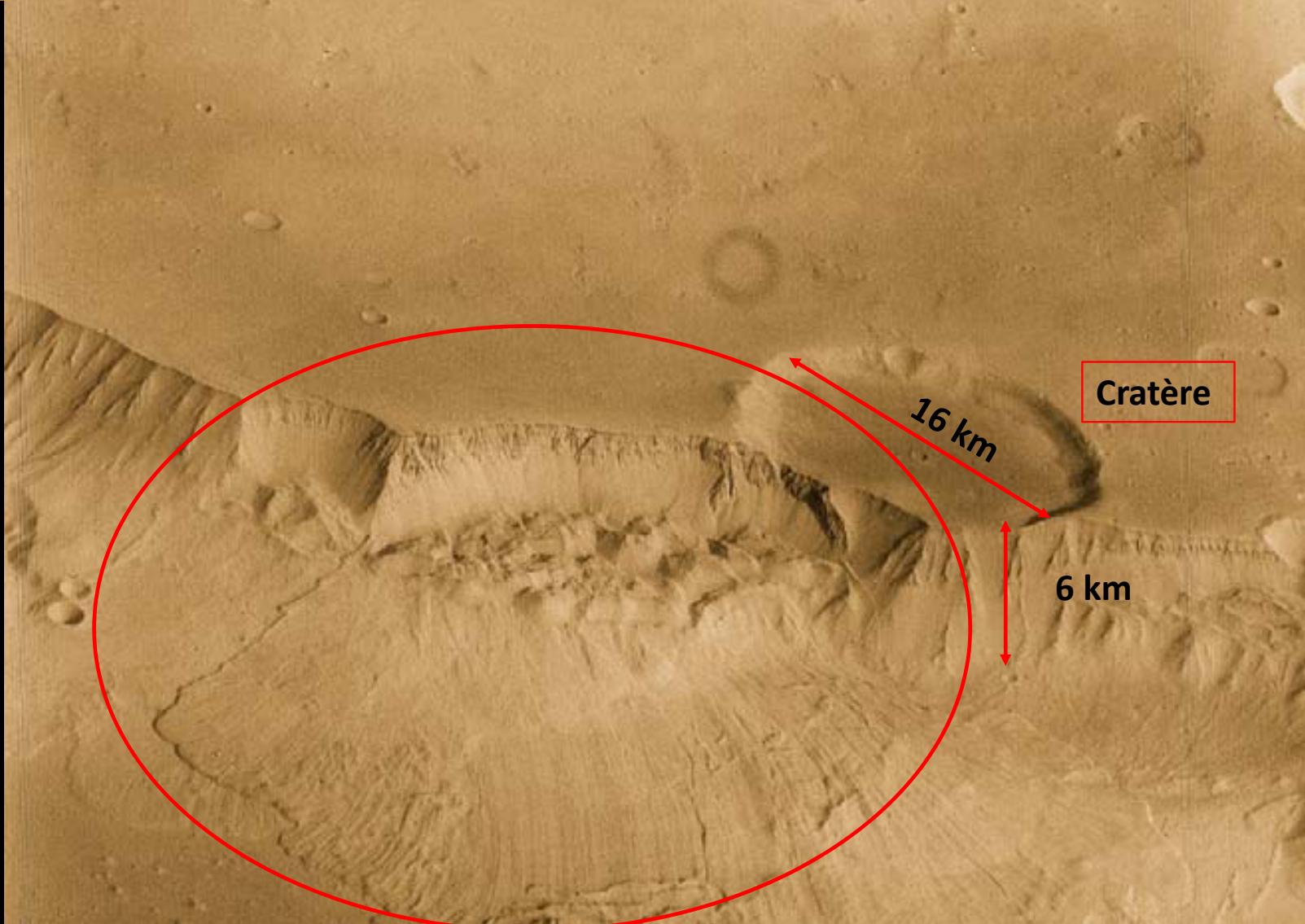




Dépôts sédimentaires lacustres dans le cratère Gale - Curiosity



Glissement de terrain dans le régolithe (Ganges Chasma, Valles Marineris)



Glissement de terrain dans le régolithe (Ganges Chasma, Valles Marineris)



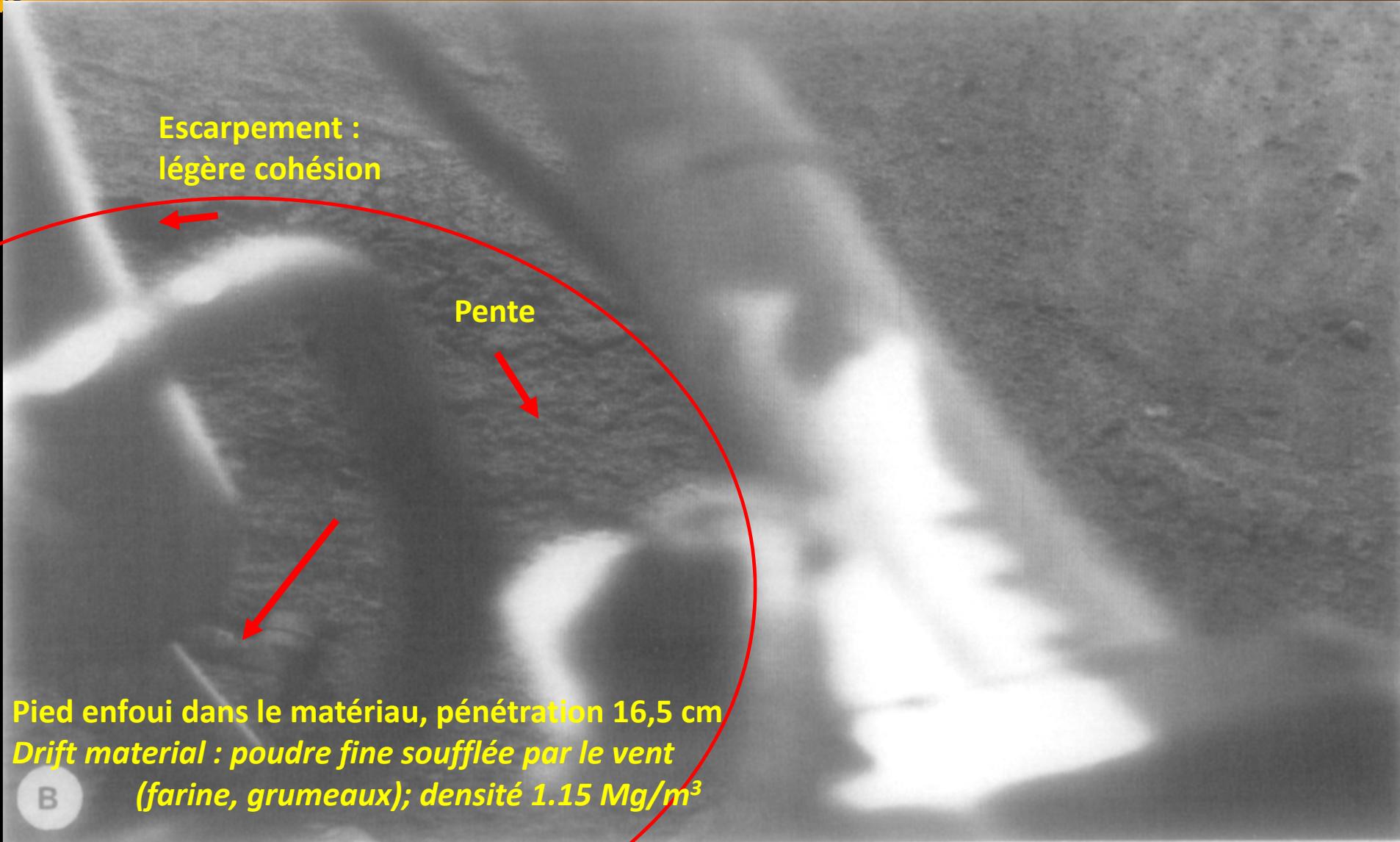


modes are comparable to the dielectric constants and thermal inertias for drift and crusty material, respectively. Dielectric constants and thermal inertias for blocky material are larger but consistent with values in the northern plains. Our interpretations are compatible with an aeolian origin for drift and similar materials elsewhere on Mars. The postulate that moderate dielectric constants and thermal inertias larger than 3 or 4×10^{-3} are produced by cementation of soil-like materials is partly consistent with the data. The average dielectric constant and thermal inertia and their correlation with one another suggest that most of the surface of Mars should present few difficulties to future surface exploration, but some surfaces may present difficulties for spacecraft that are not suitably designed. © 1989 Academic Press, Inc.

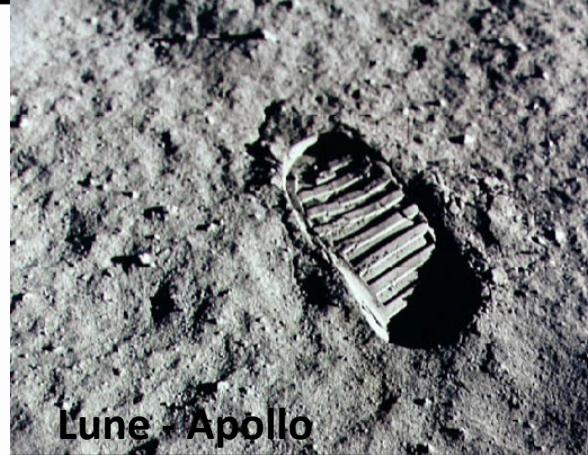


Atterrissage à 2,3 m/s, pénétration 4 cm

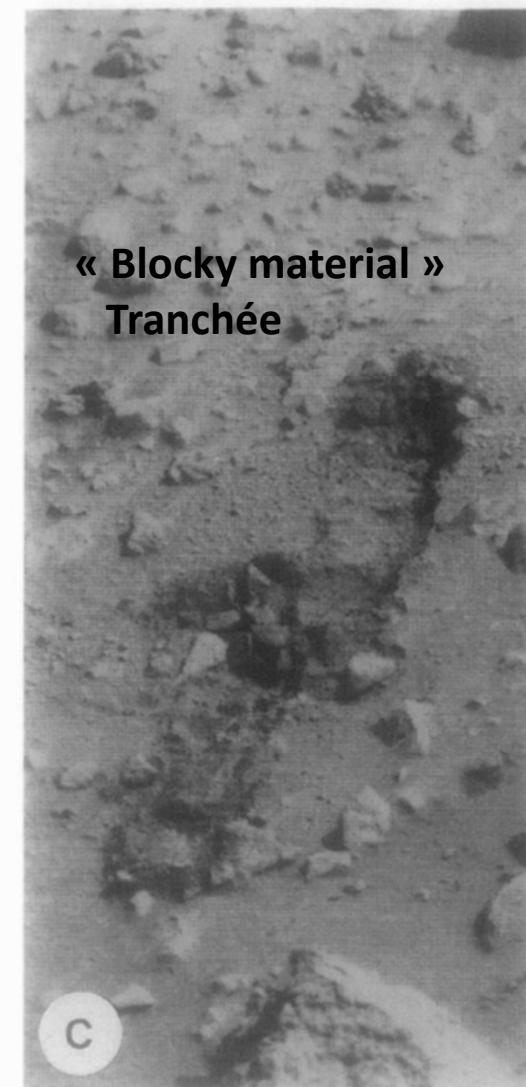
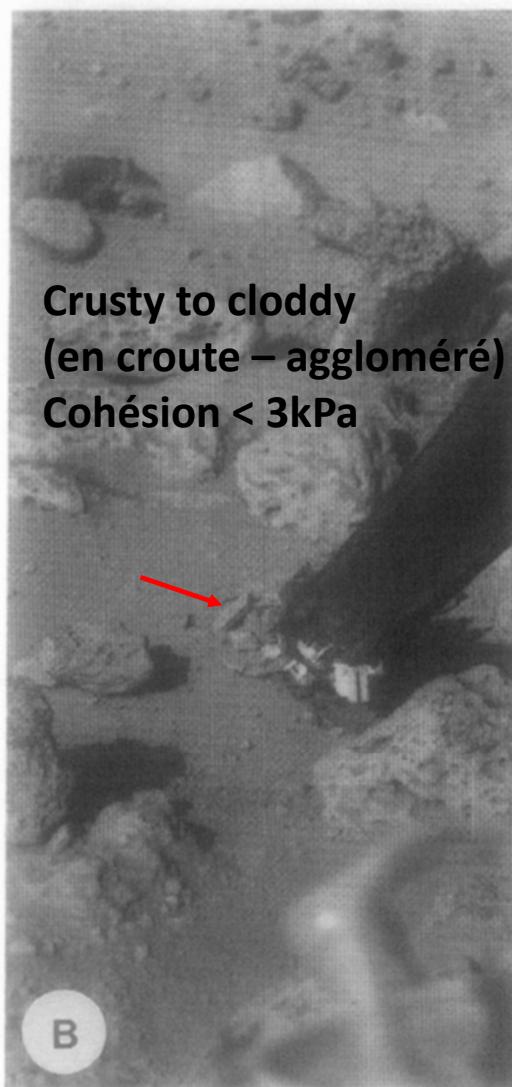
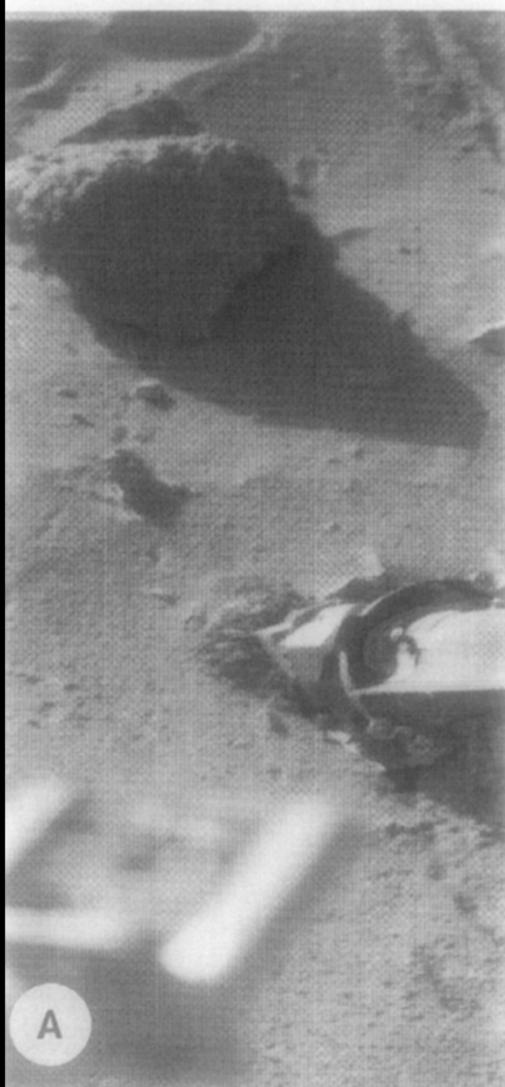
Enfouissement du pied N° 2



Echantillonneurs de Viking 1 et 2

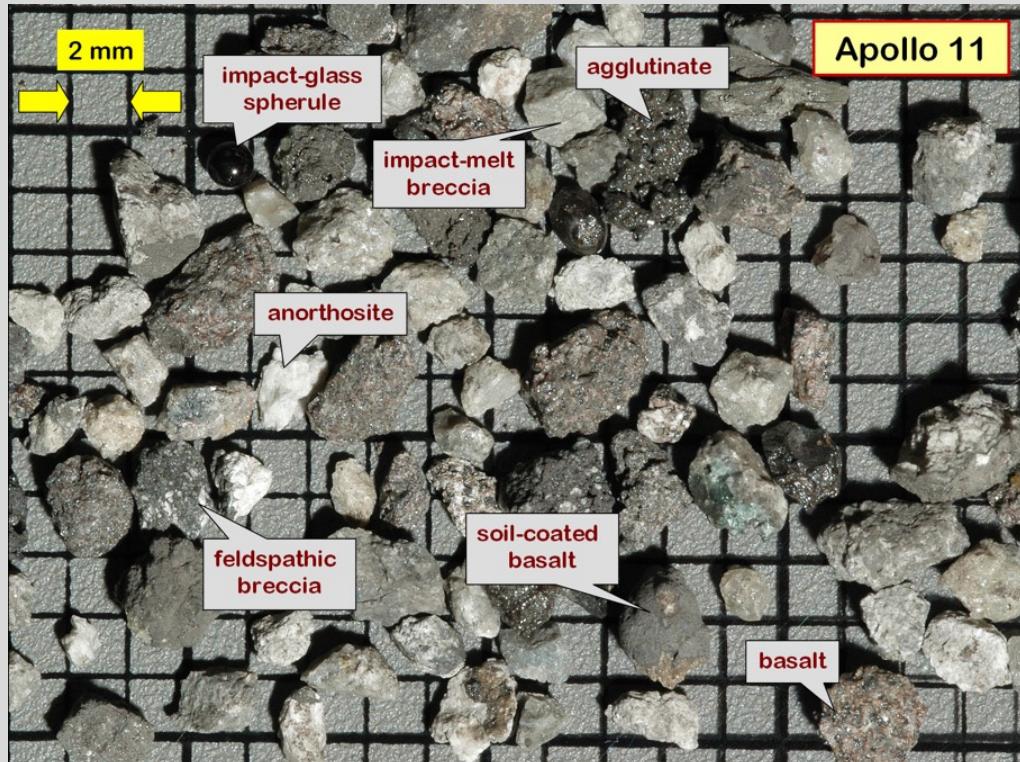


Echantillonneurs de Viking 1 et 2



Taille et forme des particules

Régolithe lunaire : très angulaire

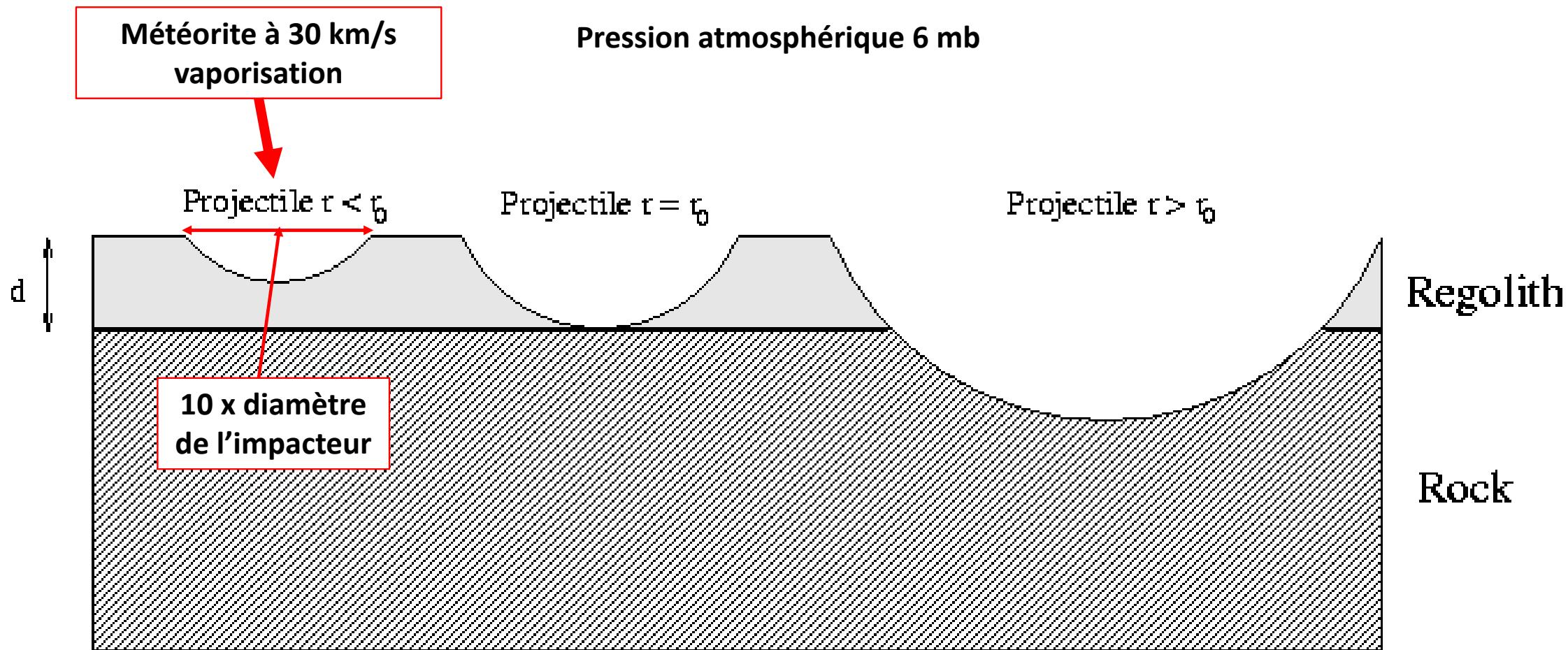


Régolithe martien : arrondi



Microscope optique, Phoenix landing site
Goetz et al. 2010)

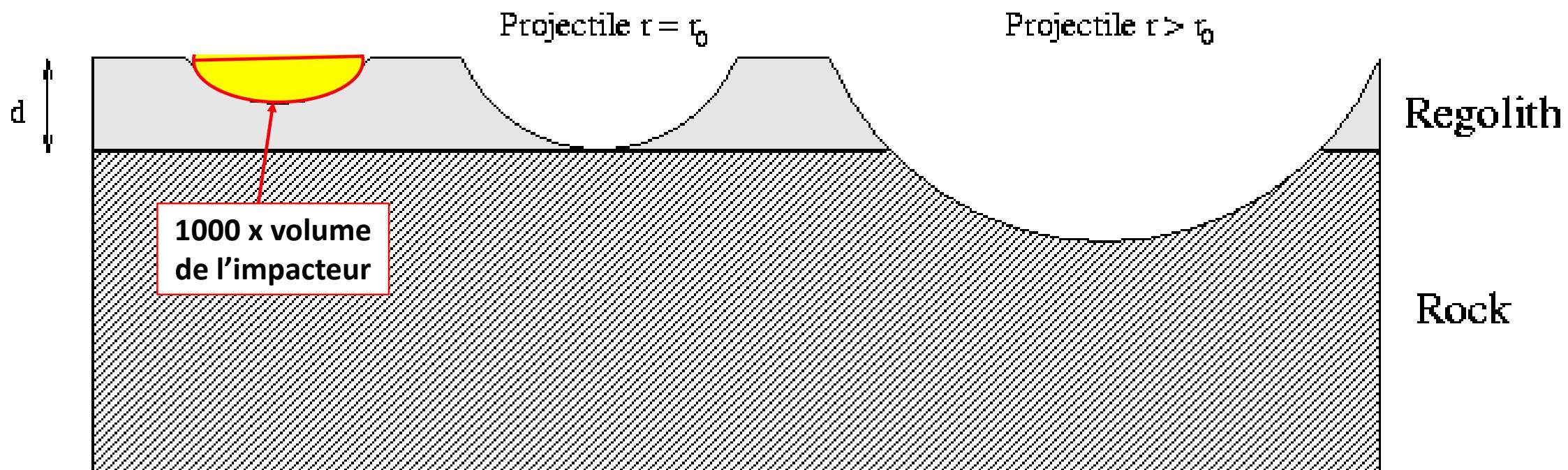
Formation du régolithe



Epaisseur du régolithe

Météorite à 30 km/s
vaporisation

Pression atmosphérique 6 mb



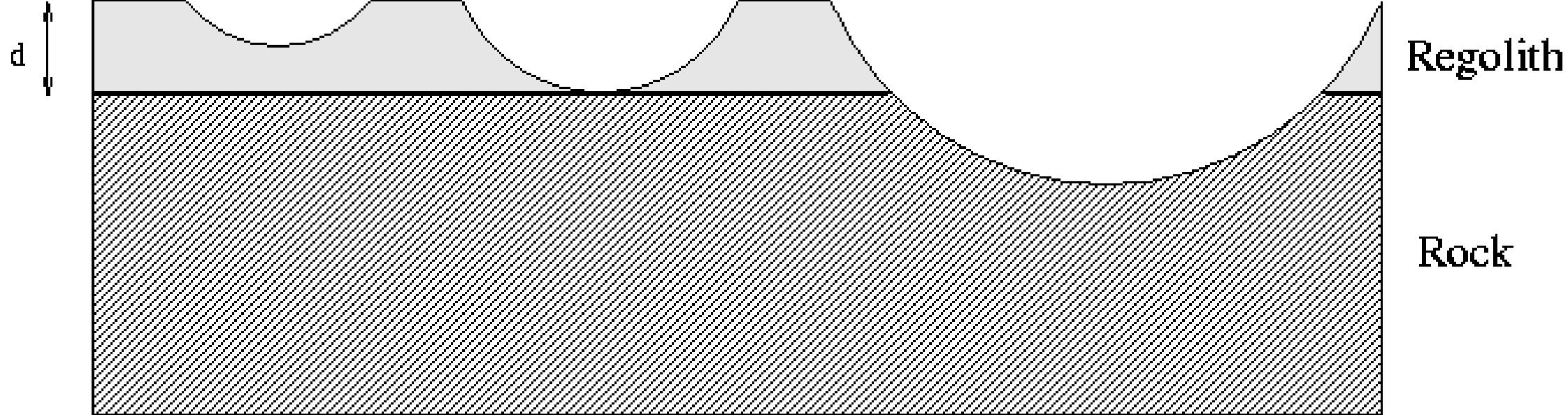
Epaisseur du régolithe

Pression atmosphérique 6 mb

Broyage, éjection à
6 – 8 diamètres

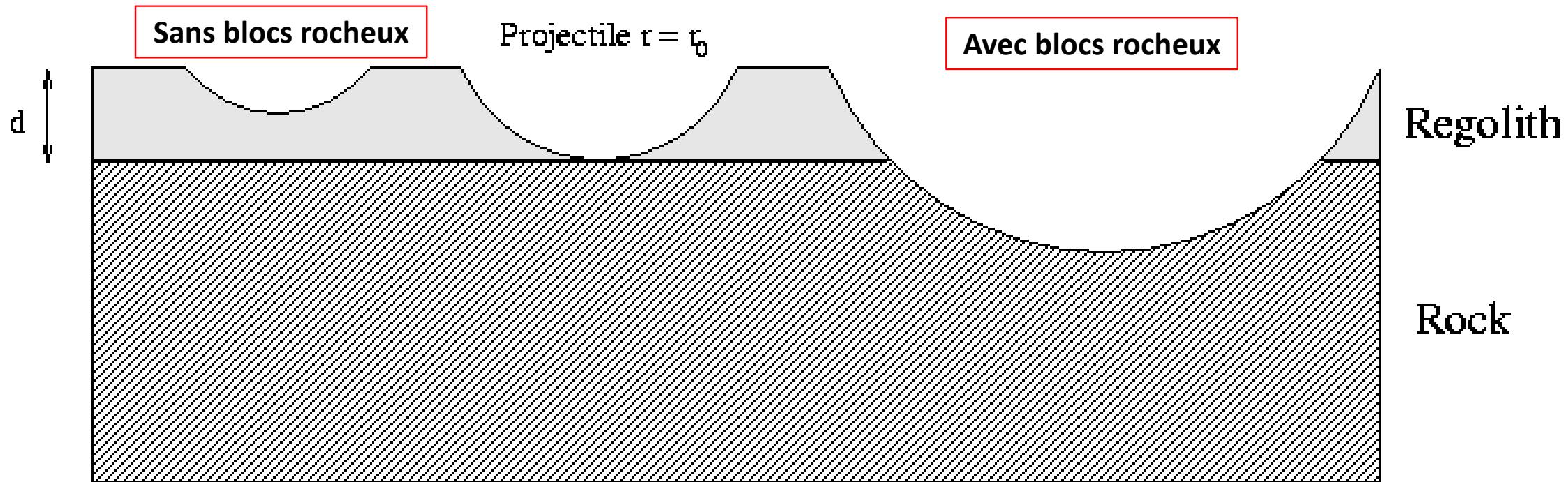
Projectile $r = r_0$

Projectile $r > r_0$



Epaisseur du régolithe

Pression atmosphérique 6 mb



Epaisseur du régolithe sur Utopia Planitia (Golombek et al. 2016)

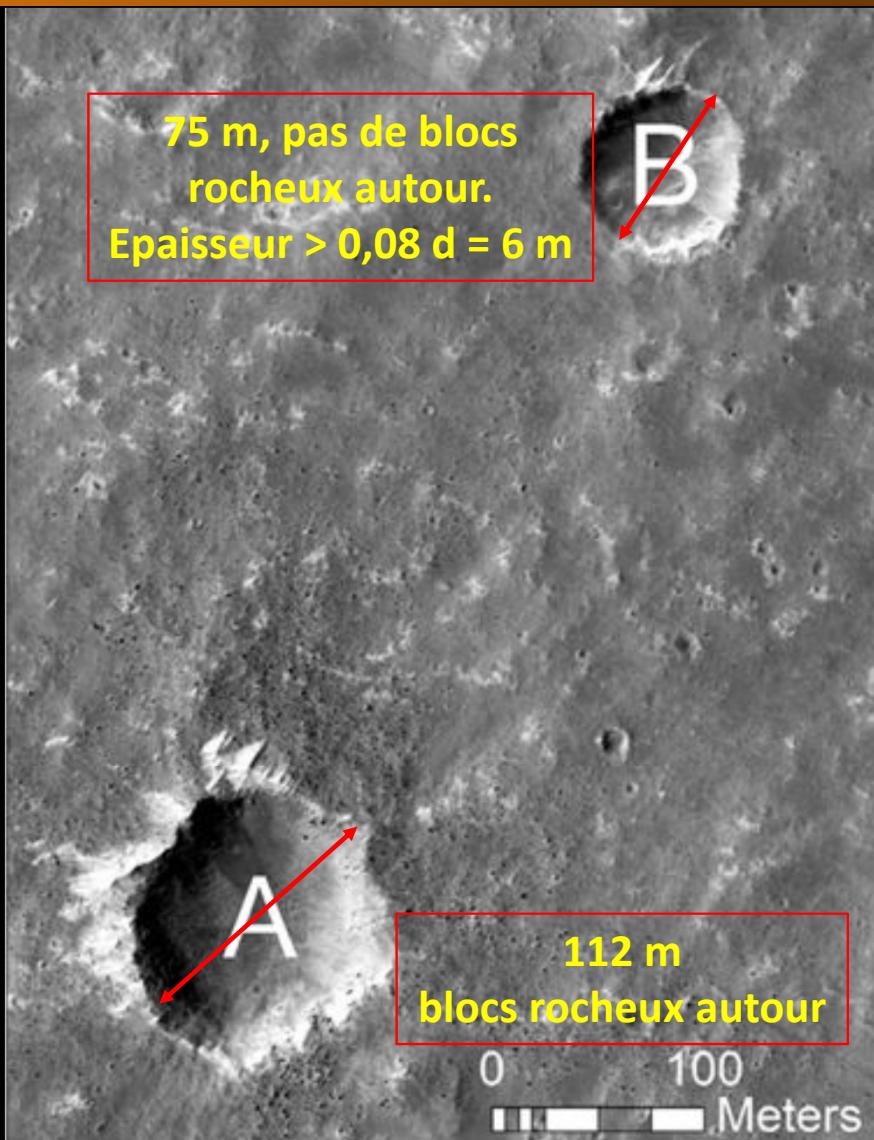
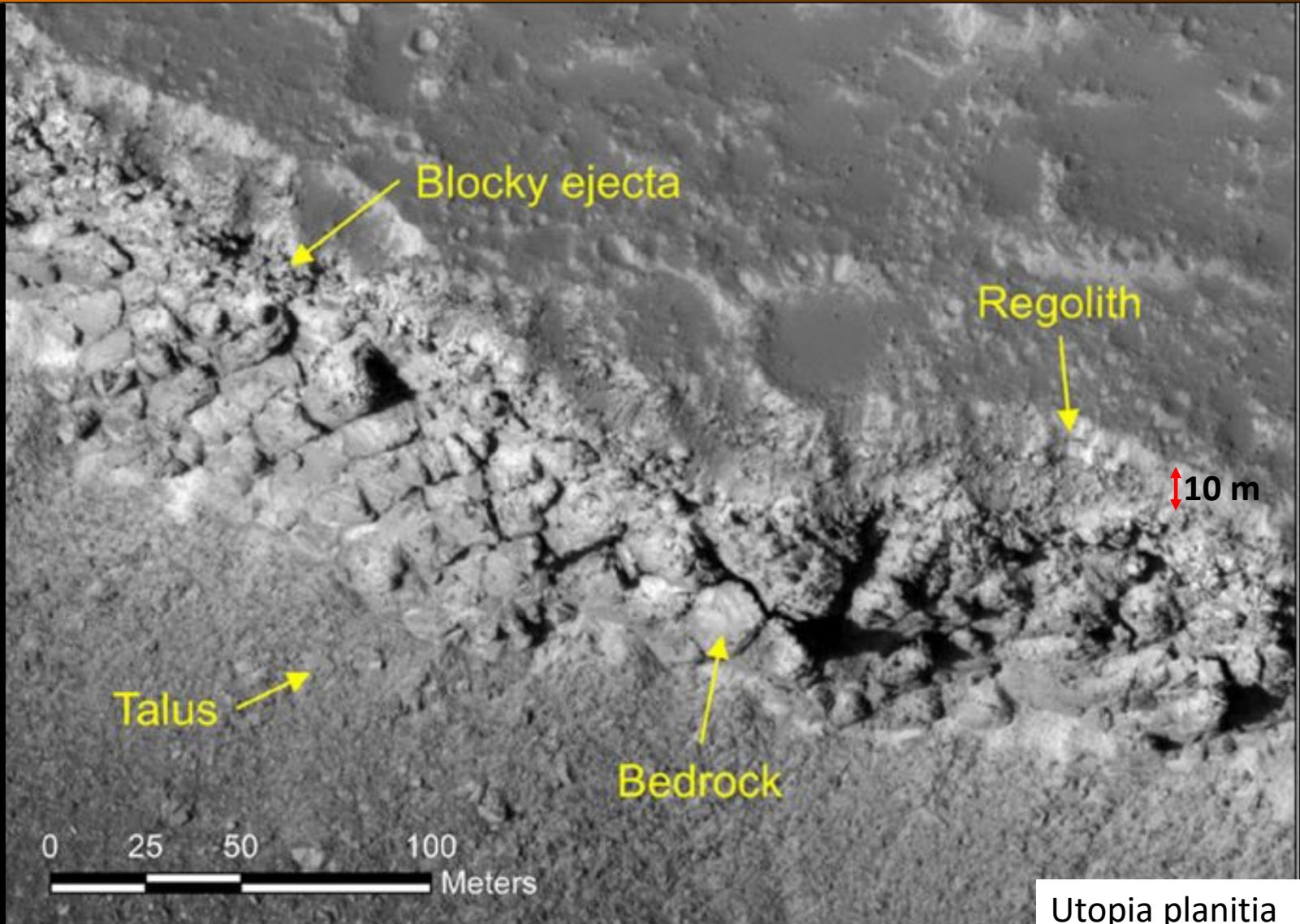


Photo HiRise
Pixel 25 cm (!)
Mars Reconnaissance Orbiter
2006 -

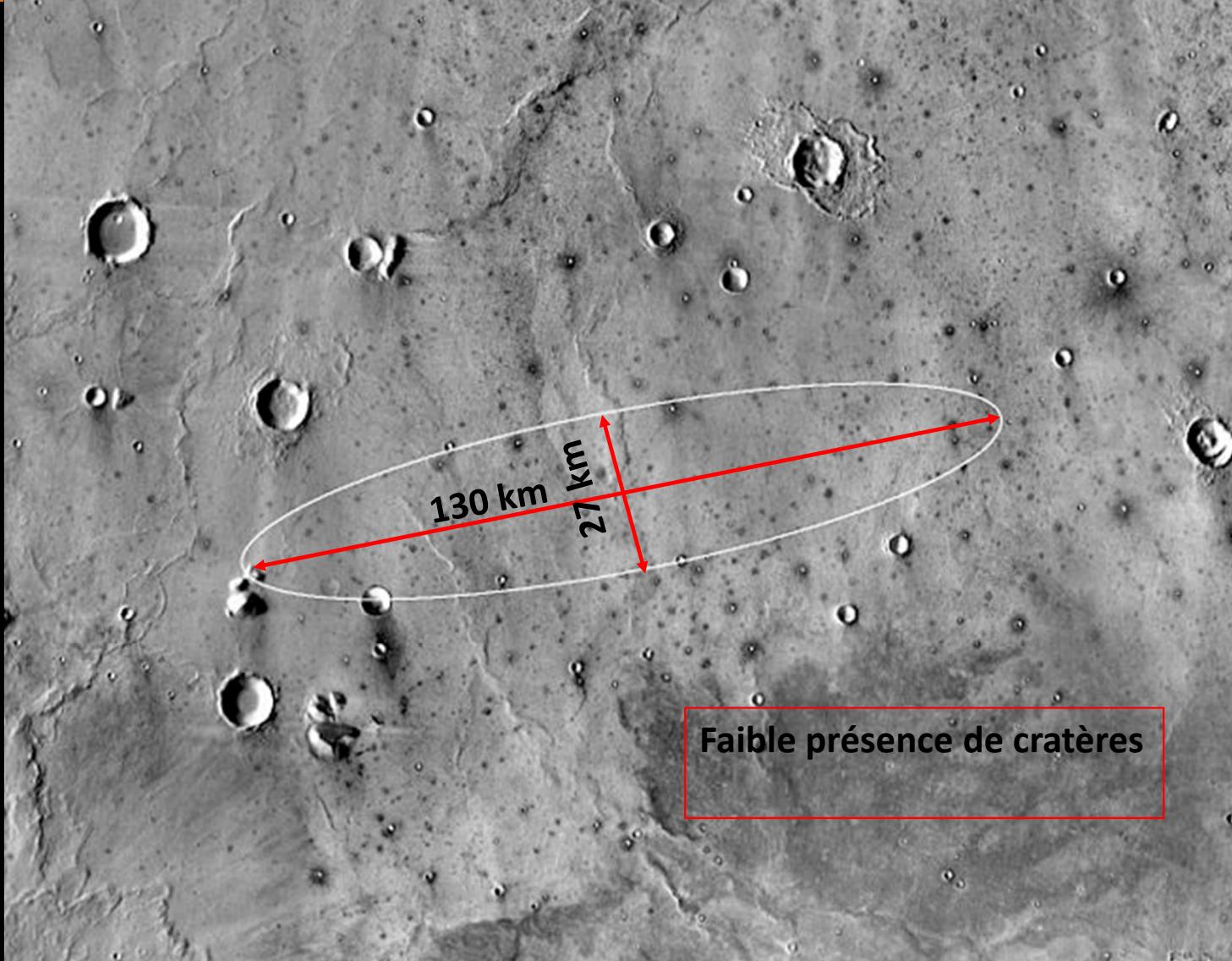


- Mesurée depuis la sonde orbitale **THEMIS (2001 -)**
- Déduite du taux de variation de la température de surface (2 – 30 cm)
- $I = (k\rho c)^{1/2}$
 - k : conductivité thermique
 - ρ : densité du sol de surface
 - c : chaleur spécifique

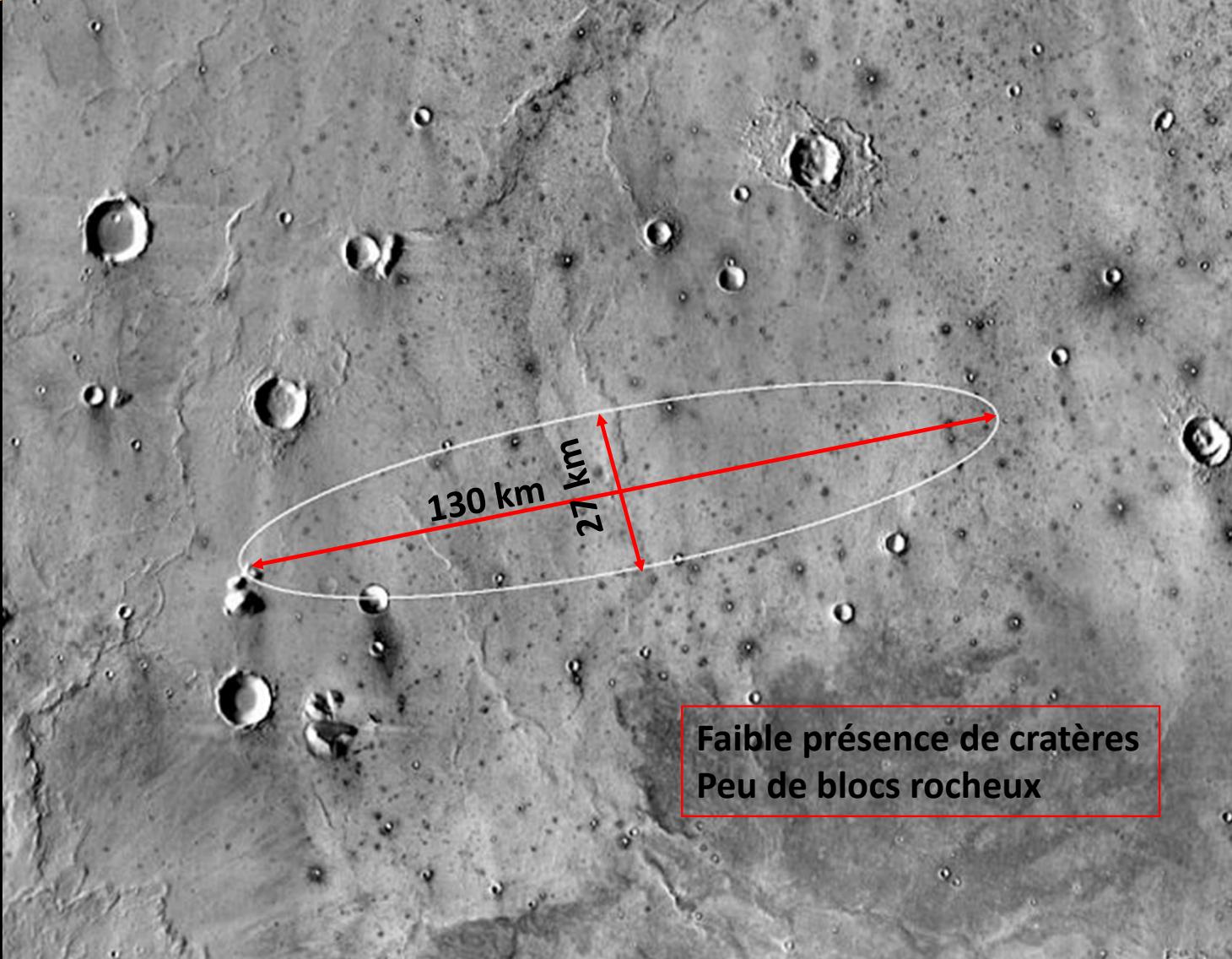
- Mesurée depuis la sonde orbitale **THEMIS** (2001 -)
- Déduite du taux de variation de la température de surface (2 – 30 cm)
- $I = (k\rho c)^{1/2}$
 - k : conductivité thermique
 - ρ : densité du sol de surface
 - c : chaleur spécifique
- Grains fins : faible inertie
- Grains plus gros : inertie plus forte

- Mesurée depuis la sonde orbitale **THEMIS (2001 -)**
- Déduite du taux de variation de la température de surface (2 – 30 cm)
- $I = (k\rho c)^{1/2}$
 - k : conductivité thermique
 - ρ : densité du sol de surface
 - c : chaleur spécifique
- Grains fins : faible inertie
- Grains plus gros : inertie plus forte
- La cohésion augmente l'inertie thermique

Site d'atterrissement InSight, Elysium Planitia (Golombek et al. 2018)



Site d'atterrissement InSight, Elysium Planitia (Golombek et al. 2018)



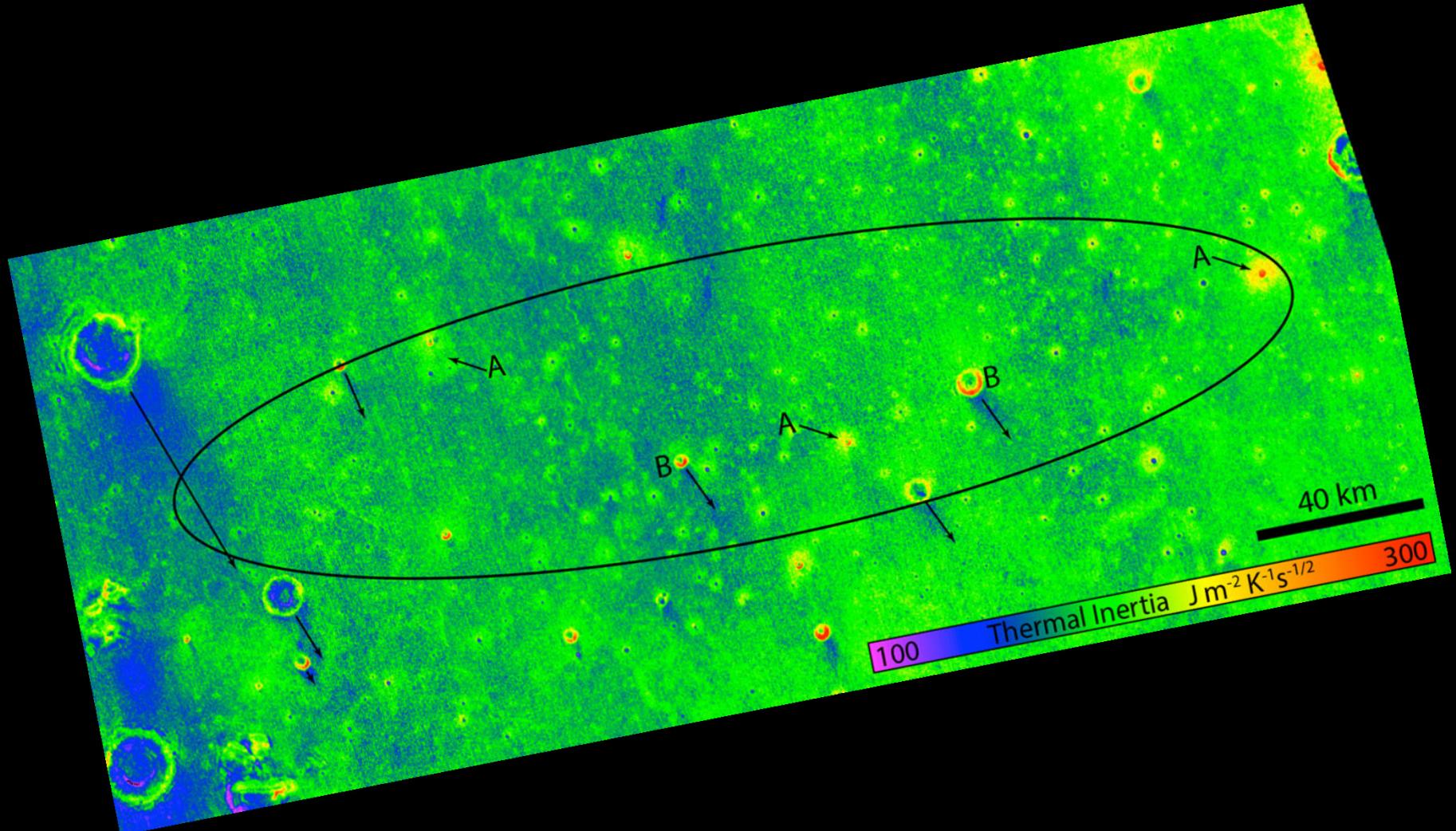
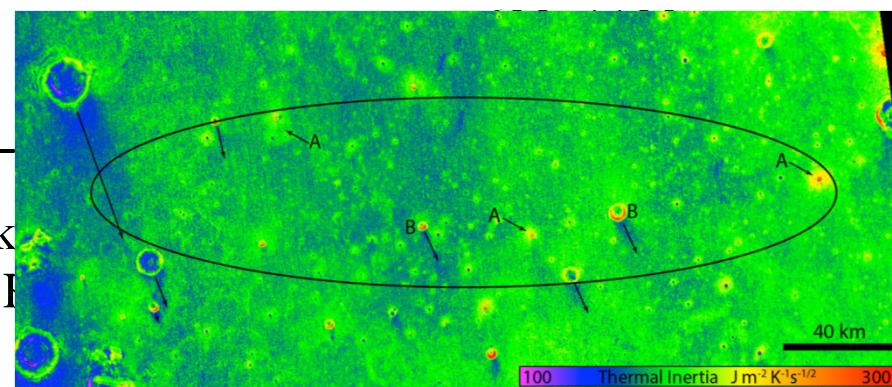
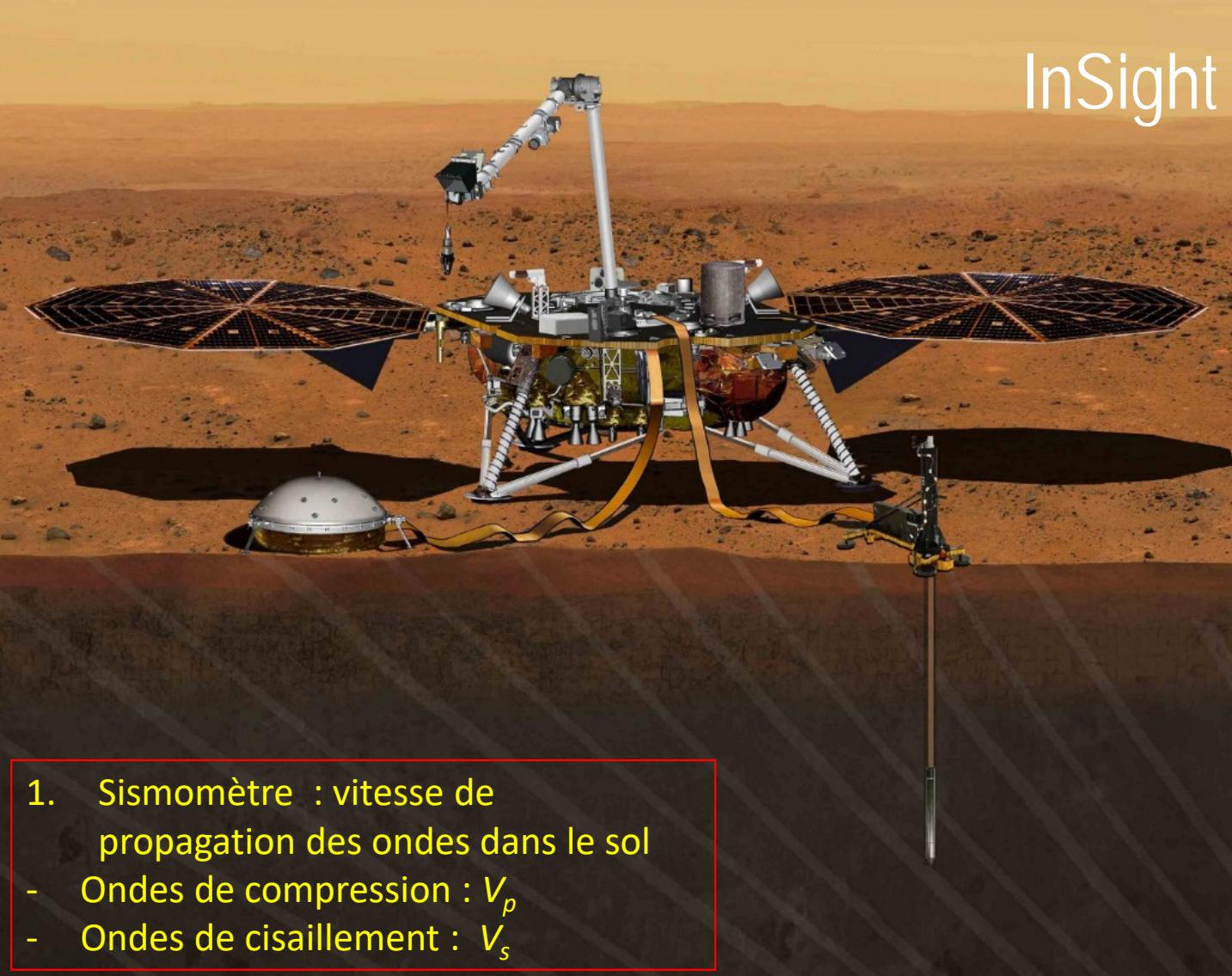


Table 1 Characteristics of some Martian surface materials (Golombek et al. 2008, Chap. 20)

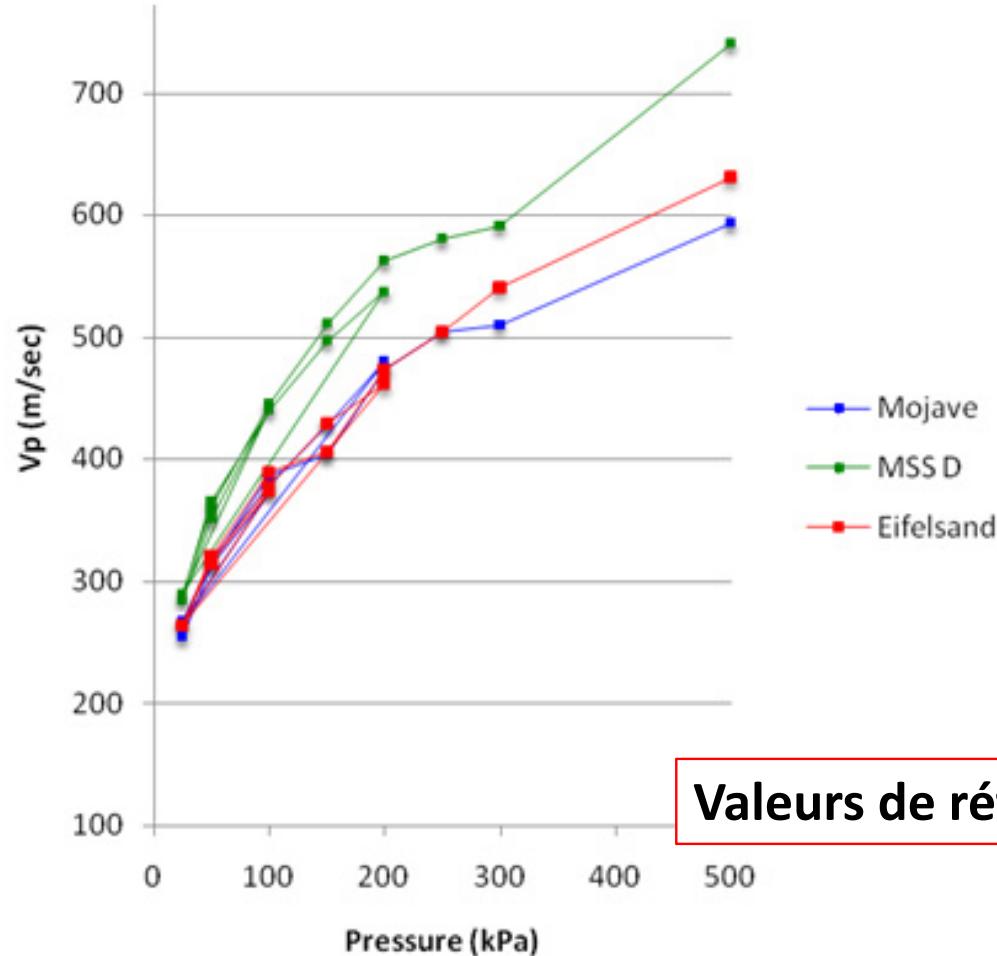
Surface material	Bulk density (Mg/m ³)	Grain size (mm)	Cohesion (kPa)	Friction angle (°)	Thermal inertia (J m ⁻² K ⁻¹ s ^{-1/2})
Drift	1–1.3	0.001–0.01	0–3	15–21	40–125
Sand	1.1–1.3	0.170 micron	–1	30	180 J m ⁻² K ⁻¹ s ^{1/2}
Crusty to cloddy sand	1.1–1.6	0.005–0.5	0–4	30–40	200–326
Blocky, indurated soil	1	Sable de Fontainebleau !			368–410
Dense float rock, volcanic	2.6–2.8	2–2000	1000–10000	40–60	> 1200–2500
Clastic rock, Columbia Hills	2				
Sulfate rock, Meridiani	< 2				

Data derived from Moore et al. (1987, 1999), Moore and Jakoski (1999), Arvidson et al. (2004a, 2004b), Christensen et al. (2004a, 2004b), Fagents et al. (2006a) and Chap. 20 from Bell.

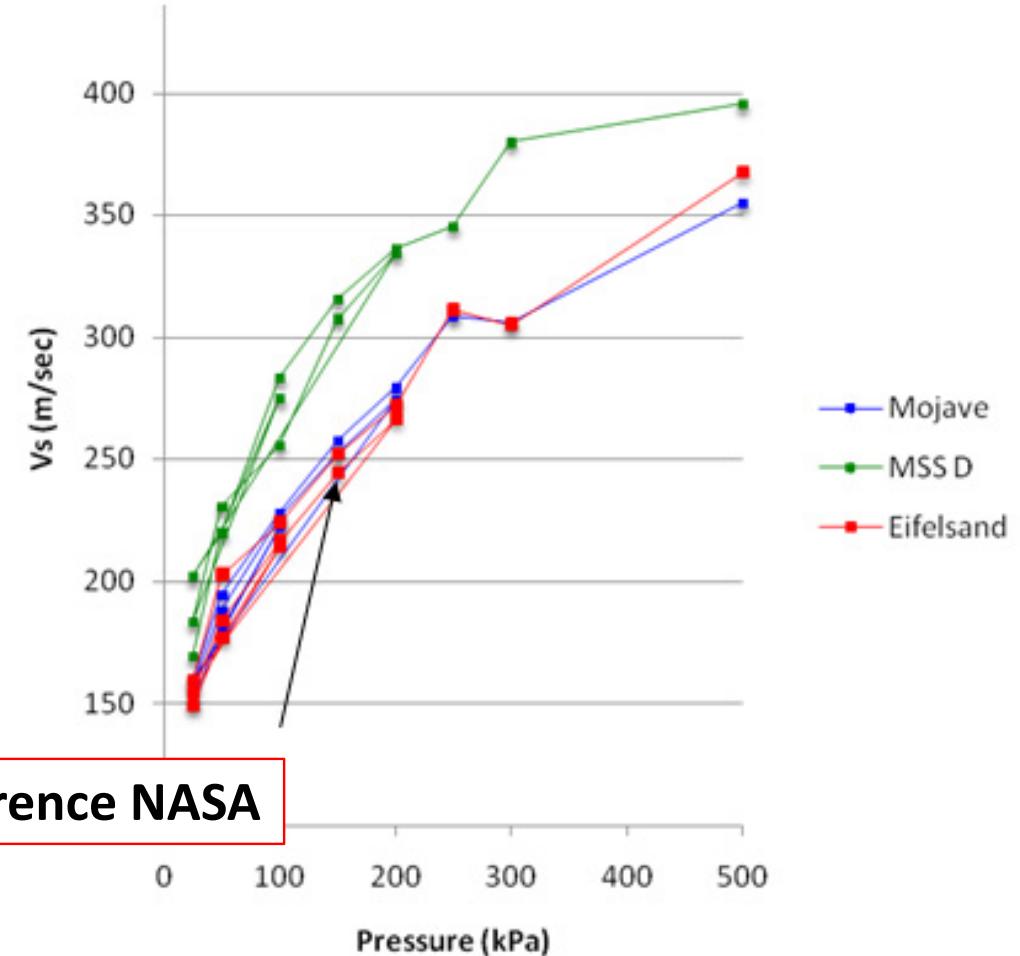


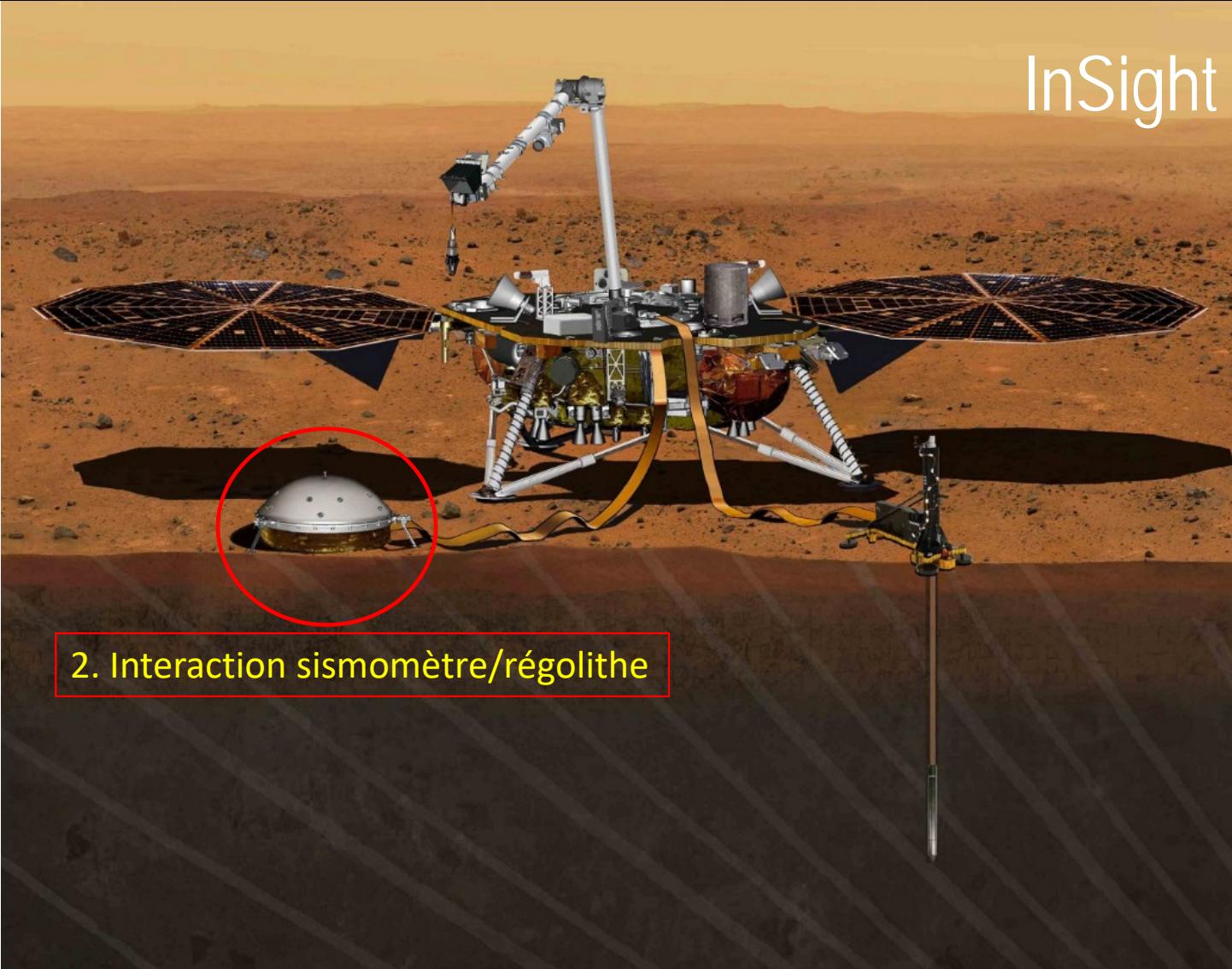


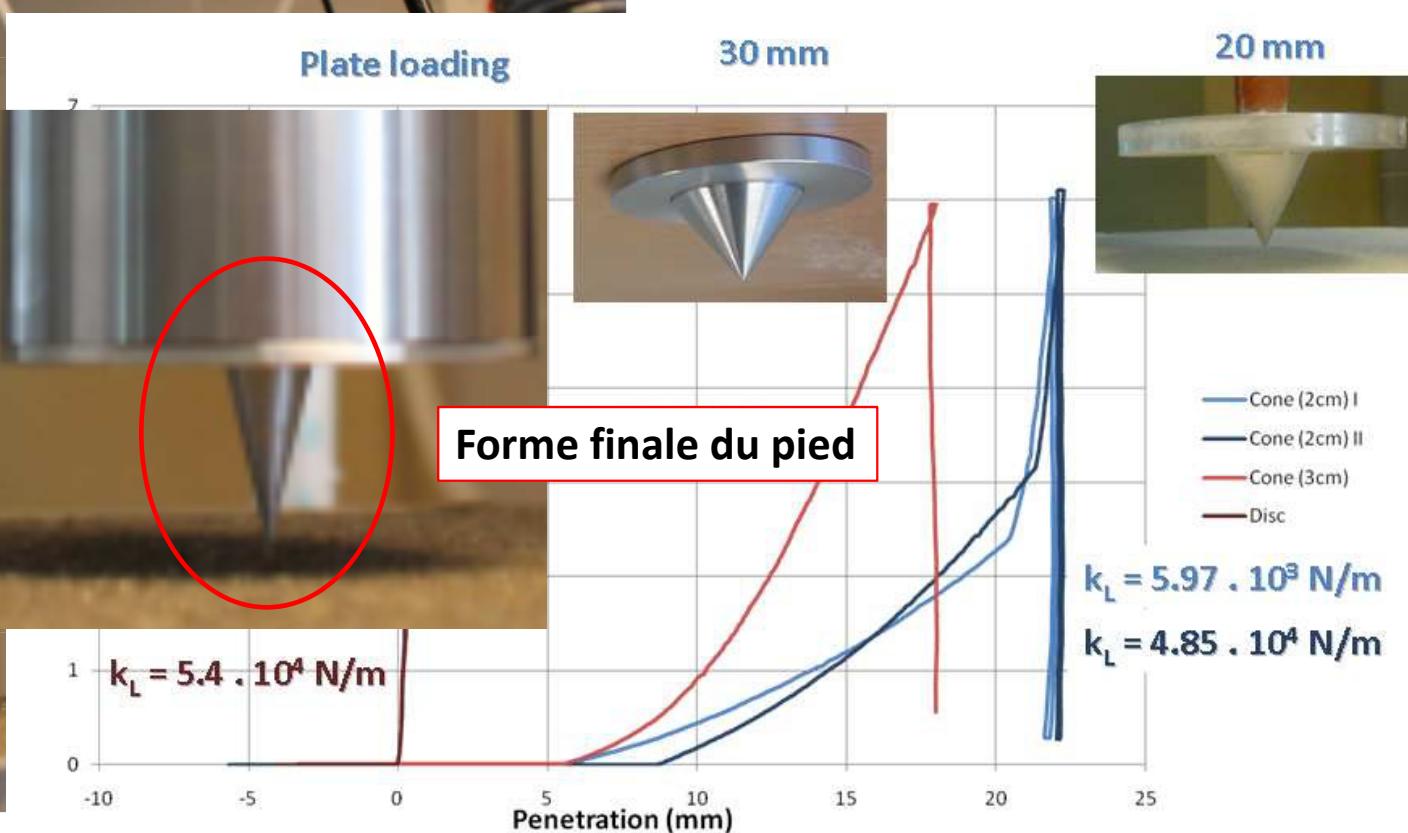
1. Sismomètre : vitesse de propagation des ondes dans le sol
 - Ondes de compression : V_p
 - Ondes de cisaillement : V_s



Valeurs de référence NASA









Space Sci Rev
DOI 10.1007/s11214-017-0339-7



An Investigation of the Mechanical Properties of Some Martian Regolith Simulants with Respect to the Surface Properties at the InSight Mission Landing Site

Pierre Delage¹ · Foivos Karakostas² · Amine Dhemaied¹ · Malik Belmokhtar¹ · Philippe Lognonné² · Matt Golombek³ · Emmanuel De Laure¹ · Ken Hurst³ · Jean-Claude Dupla¹ · Sharon Keddar³ · Yu Jun Cui¹ · Bruce Banerdt³

